

Jussi Oksanen

Energiankulutuksen seurantajärjestelmä ja sen hyödyntäminen energiatehokkuuden parantamisessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari, LVI (AMK)

Rakennusalan työjohto

Opinnäytetyö

8.5.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Jussi Oksanen Energiankulutuksen seurantajärjestelmä ja sen hyödyntäminen energiatehokkuuden parantamisessa 57 sivua + 15 liitettä 8.5.2018
Tutkinto	rakennusmestari, LVI (AMK)
Tutkinto-ohjelma	rakennusalan työnjohto
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka
Ohjaajat	lehtori Aamos Lemström talotekniikkapäällikkö Joni Jumisko
<p>Opinnäytetyön ensimmäisenä tavoitteena oli verrata energianmittausjärjestelmän toteutusta teoriaan ja arvioida kuinka energiakulutuksen seurantajärjestelmä on toteutettu pilot-tikohteessa. Toisena tavoitteena selvitettiin laskennallisesti energiankulutuksen seurantajärjestelmää apuna käyttäen rakennuksen energiatehokkuusluokka eli E-luku, jonka tavoite oli luokka B. Energiatehokkuusluokan laskennassa laskettiin tammikuun ja helmikuun 2018 toteutunut energiankulutus ja arvioitiin loppuvuoden energiankulutus erilaisilla laskelmilla. Energiatehokkuusluokan selvityksen myötä arvioitiin selittäviä tekijöitä ennustettua korkeammalle energiankulutukselle ja kehitysehdotuksia energiatehokkuuden parantamiseksi.</p> <p>Tutkimusmenetelmänä oli kerätä teoriapohjaista tietoa ja sen perusteella muodostettiin teoriapohjainen näkemys hyvästä energiankulutuksen seurantajärjestelmästä. Energiankulutuksen seurantajärjestelmän toimivuutta arvioitiin omakohtaisella käytöllä valvomossa, josta seurantajärjestelmää pääsi tarkastelemaan. Energiatehokkuusluokan laskemista varten selvitettiin laskennassa tarvittavat laskukaavat rakentamismääräyskokoelmista ja lähtötietojen selvittämiseen hyödynnettiin energiankulutuksen seurantajärjestelmää.</p> <p>Opinnäytetyön ensimmäinen tavoite saavutettiin ja voidaan todeta, että pilottikohteeseen toteutettu energiankulutuksen seurantajärjestelmä pitää sisällään kaikki tarvittavat työkalut rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseen.</p> <p>Opinnäytetyön toisena tavoitteena selvitettiin, että rakennuksen energiantehokkuusluokka on tällä hetkellä C ja, mikäli energiankulutusta ei saada tehostettua, on todennäköinen luokka D.</p> <p>Tavoitteena ollut B-luokkaa ei vielä saavutettu johtuen lämmitysenergian sekä laitesähkön ennustettua korkeammasta kulutuksesta. E-lukua laskettaessa ei oteta huomioon rakennuksen eri käyttötarkoituksia, vaikka sillä on merkittävä vaikutus rakennuksen todelliseen energiantehokkuusluokkaan. Energiankulutuksen tehostamiseksi voidaan kerroskohtaisia lämpötilan asetusarvoja pienentää niiden ollessa suunniteltua korkeammat.</p>	
Avainsanat	energiatehokkuus, seurantajärjestelmä, kulutus, mittaus, E-luku, energiatehokkuusluokka

Author Title Number of Pages Date	Jussi Oksanen Metrology of energy consumption and improving energy efficiency 57 pages + 15 appendices 8.5.2018
Degree	Bachelor of Construction Management
Degree Programme	Construction Site Management
Specialisation option	HVAC Engineering
Instructors	Aamos Lemström Senior Lecturer Joni Jumisko Head of department
<p>The final year project aimed to gather theory on creating metrology for energy consumption, and to compare the theory with a pilot project, an 11-storey apartment building with various business premises. Another goal was to calculate the energy efficiency class of the building with the created metrology for energy consumption. The target energy efficiency class was B.</p> <p>The true energy consumption in January and February 2018 was calculated, and the energy consumption for the rest of the year was predicted on the basis of the calculations. Once the energy efficiency class was established, the project set out to explain why the energy consumption was higher than expected, and how it could be decreased.</p> <p>The project gathered solid theoretical knowledge and formulated an accurate vision of good metrology for energy consumption. The metrology system was verified by actually using it. The energy efficiency class calculations were based on building regulations. Unfortunately, it was impossible to reach the target class B due to the mixed use of the building both as dwellings and as business premises.</p> <p>However, the project verified that the metrology for energy consumption had a solid theoretical basis. It had all necessary qualities to monitor and improve the consumption of energy.</p>	
Keywords	metrology of energy consumption, energy efficiency, energy

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Opinnäytetyön taustat	1
1.2	Opinnäytetyön tavoitteet	2
1.3	Opinnäytetyön sisällön rajaus	2
1.4	Opinnäytetyön kulku	3
2	Mittausjärjestelmän suunnittelu	4
2.1	Mittarointijärjestelmän suunnittelu	6
2.1.1	Lämmitys-, jäähdytys- ja sähköenergian kulutusmittaukset	6
2.1.2	Järjestelmäkohtaiset seurantamittaukset	7
2.2	Mittarointijärjestelmän periaatekaavio	8
2.3	Riskien kartoitus	11
2.4	Kenttämittareiden esittely	12
2.4.1	Kaukolämpö ja kaukokylmä	12
2.4.2	Vesimittarit	13
2.4.3	Sähkömittarit	13
2.4.4	Automaatiomittarit	14
3	Mittausjärjestelmän rakentamisvaihe	17
3.1	LVI	17
3.2	Rakennusautomaatio	19
3.3	Sähkö	20
3.4	Toimintakokeet	21
4	Mittausjärjestelmän käyttö ja ylläpito	23
4.1	Käyttö ja huolto-ohje	24
4.2	Käytönopastukset	24
4.3	Sisäilmaston varmistaminen	25
4.4	Vaipan tiiveyden varmistaminen	25
4.5	Energiankulutuksen jatkuva seuranta ja arvioiminen	26
4.5.1	Vertaisanalyysien hyödyntäminen	27
4.5.2	Poikkeusseuranta ja vikadiagnostiikka	29
4.5.3	Käyttäjäpalaute ja järjestelmien jatkuva varmistaminen	30

4.6	Laskennallisen ja toteutuneen energiankulutuksen vertailu	31
5	Energiatehokkuusluokan määrittely	33
5.1	Laskennan teoria	33
5.2	Lähtötiedot laskentaan	36
5.3	Tilojen lämmitysenergian laskenta	38
5.4	Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian laskenta	42
6	Energianmittausjärjestelmän käytettävyyden arviointi	42
6.1	Mittausjärjestelmän ominaisuudet verrattuna teoriaan	42
6.2	Kehitysehdotukset	46
7	Energiatehokkuusluokan tarkastelu	46
7.1	Lämmitysenergian kulutuksen tarkastelu	46
7.2	Sähköenergian kulutuksen tarkastelu	48
7.3	E-luvun laskenta	50
7.4	Laskennan virhetarkastelu	51
7.5	Ehdotuksia energiatehokkuuden parantamisen	52
7.5.1	Lämmitysenergia	52
7.5.2	Sähkö	53
8	Yhteenveto	54
	Lähteet	56
	Liitteet	
	Liite 1. Tilojen lämmitysenergian nettotarpeen laskenta	
	Liite 2. Tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen tehontarve, tammikuu 2018	
	Liite 3. Tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen tehontarve, helmikuu 2018	
	Liite 4. Rakennusvaipan johtumishäviöt, tammikuu 2018	
	Liite 5. Rakennusvaipan johtumishäviöt, tammikuu 2018	
	Liite 6. Korvausilman lämpenemisen tehontarve, tammikuu 2018	
	Liite 7. Korvausilman lämpenemisen tehontarve, helmikuu 2018	
	Liite 8. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve	
	Liite 9. Rakennuksen lämmitysenergian nettotarve, tammikuu 2018 (toimistorakennus)	
	Liite 10. Rakennuksen lämmitysenergian nettotarve, helmikuu 2018 (toimistorakennus)	
	Liite 11. Lämmöntalteenoton laskelma, tammikuu 2018 (toimistorakennus)	
	Liite 12. Lämmöntalteenoton laskelma, helmikuu 2018 (toimistorakennus)	
	Liite 13. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, tammikuu 2018 (käytönmukainen)	

Liite 14. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, tammikuu 2018 (käytönmukainen)

Liite 15. Lämmöntalteenoton laskelma, tammikuu 2018 (käytönmukainen)

Liite 16. Lämmöntalteenoton laskelma, helmikuu 2018 (käytönmukainen)

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön taustat

Uudis- ja korjausrakennusten energiankulutus on noin 40 % koko Suomen energiankulutuksesta, minkä vuoksi rakennuksen energiankulutusta on seurattava, jotta rakennuksen energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa.

Energiankulutuksen seuranta varten voidaan rakennuksen automaatiojärjestelmään liittää seurantajärjestelmä, jolla seurataan rakennuksen kaukolämmön, kaukokylmän, veden, sekä sähkön kulutusta.

Seurantajärjestelmällä pystytään seuraamaan kerroskohtaisia lämpötilaolosuhteita, ilmanvaihtokoneiden, lämmitysjärjestelmien ja niihin liitettyjen mittausantureiden, sekä mittauspisteiden reaaliaikaisia olosuhdetietoja

Opinnäytetyö liittyy työskentelyyni LVI-projektinhoitajana valmistuneessa toimistorakennuksessa, johon rakennettiin energiankulutuksen seurantajärjestelmä, joka liitettiin erillisen valvomon seurantaan. Valvomossa voidaan seurata rakennuksen energiankulutusta ja olosuhteita arvioimalla sekä tarpeenmukaisella virittämisellä parantaa rakennuksen energiatehokkuutta.

Työskentelyn aikana avautui mahdollisuus tutustua energiankulutuksen seurantaan ja energiatehokkuuden parantamiseen. Opinnäytetyössäni selvitettiin, saavutettiinko hankesuunnitteluvaiheessa asetettu energiatehokkuusluokka ja mitä pitää sisällään hyvin toteutettu energiankulutuksen seurantajärjestelmä.

Kohteena on ydinkeskustassa sijaitseva 6-kerroksinen toimistorakennus, joka oli jaettu kolmeen eri käyttötarkoitukseen eli toimisto-, liike- ja liikuntakäyttöön. Maanpäällisistä kerroksista viisi on toimistokäytössä, ensimmäinen maanpäällinen ja kellarikerros ovat liiketiloihin verrattavia tiloja ja toisesta kellarista neljanteen kellarin tilat ovat liikuntakäytössä. Viidennessä kellarikerroksessa on autohalli sekä varastotiloja. Rakennuksen tilavuus on noin 40 000 m³ ja lämmitettyä pinta alaa noin 13 600 m².

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön ensimmäisenä tavoitteena on verrata energianamittausjärjestelmän toteutusta teoriaosiossa esitettyyn ja arvioida, kuinka energiakulutuksen seurantajärjestelmä on toteutettu.

Opinnäytetyön toisena tavoitteena on selvittää, saavutettiin hankesuunniteluvaiheessa asetettu energiatehokkuusluokka B, kun energiankulutuksen seurantajärjestelmästä oli saatu tammi- ja helmikuun energiankulutustiedot ja loppuvuoden kulutus arvioitiin hankesuunnitelmavaiheessa tehdyn energiasimulointimallin mukaiseksi.

Energiatehokkuusluokan selvityksen myötä arvioidaan selittäviä tekijöitä ennustettua korkeammalle energiankulutukselle ja pohditaan mahdollisia toimenpiteitä energiatehokkuuden parantamiseksi.

1.3 Opinnäytetyön sisällön rajaus

Opinnäytetyön sisältö perustuu teoriapohjaiseen aineistoon, joka on koottu Metropolia kirjastosta, pääasiallisesti ympäristöministeriön rakentamismääräyskokoelmista.

Opinnäytetyössä käsitellään LVI-tekniikan energiankulutuksen lisäksi myös sähkönkulutusta sen ollessa keskeisessä osassa koko rakennuksen energiankulutuksessa. Koko rakennuksen energiantehokkuuden ymmärtämisessä ja E-luvun laskennassa on välttämätöntä ymmärtää sähkön kulutuksen muodostuminen ja liittyminen LVI-tekniikkaan.

Opinnäytetyö on rajattu käsittelemään teoriapohjaisesti suunnittelu, toteutus ja käyttöönottovaihetta. Painopisteenä tavoitteiden saavuttamisen arvioimisessa on käyttöönottovaihe, jolloin energiankulutuksen seurantajärjestelmä on saatu valmiiksi ja luovutettu käyttäjälle, jolloin sen varsinainen käyttö aloitetaan.

Opinnäytetyössä selvitetty energiatehokkuusluokka on suoritettu laskennallisesti tammi- ja helmikuun 2018 todellisia kulutuksia apuna käyttäen, ja loppuvuoden osalta energiankulutus on energiasimuloinnin mukainen.

1.4 Opinnäytetyön kulku

Opinnäytetyön alussa esitellään energiankulutuksen seurantajärjestelmän rakennetta, joka pitää sisällään suunnitteluvaiheen, rakentamisvaiheen ja käyttöönoton, sekä kussakin vaiheessa erityisesti huomioitavia asioita, esitellään, energiatehokkuusluokan laskennan toteuttaminen pitäen sisällään lähtötiedot laskentaan, sekä tarvittavat laskenta-kaavat energiatehokkuusluokan laskentaa varten.

Opinnäytetyössä arvioidaan pilottikohteeseen toteutetun energiankulutuksen seurantajärjestelmän käytettävyyttä arvioimalla sen sisältöä teoriaosuudessa esitettyyn sisältöön. Osiossa esitellään kehitysehdotuksia tulevia seurantajärjestelmiä silmällä pitäen, sekä kohteeseen liittyviin seurantoihin.

Opinnäytetyön loppupuolella käydään lävitse laskettua energiankulutusta lämmitykseen ja sähkön osalta, sekä selvitetään rakennuksen laskennallinen E-luku. Lisäksi tarkastellaan myös, mistä syystä energiankulutus oli suurempaa kuin hankesuunniteluvaiheessa oli oletettu ja kuinka energiatehokkuutta voidaan tehostaa lämmitysenergian ja sähköenergian kulutuksen osalta.

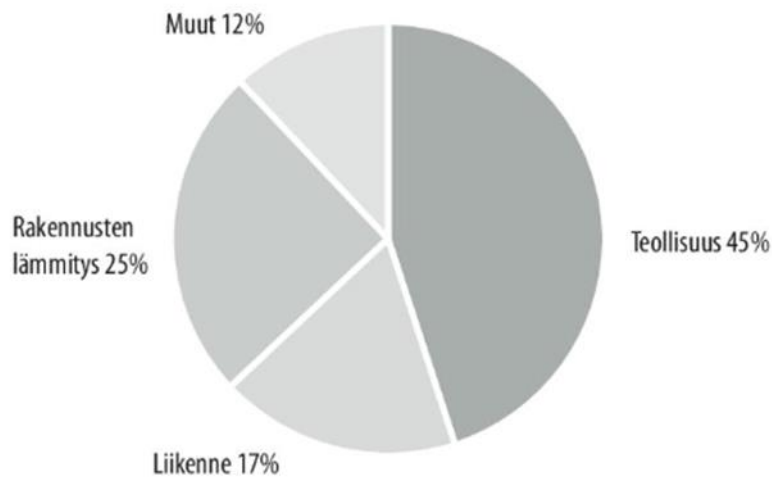
2 Mittausjärjestelmän suunnittelu

Energiankulutuksen osuus uudis- ja korjausrakentamiskohteissa on yksi merkittävimmistä energiankulutuskohteista maassamme. Uusia tai saneerattavia rakennuksia varten on suunniteltava kattava energiamittausjärjestelmä, jolla energiankulutusta pystytään seuraamaan heti rakennuksen käyttöönoton jälkeen (ToVa-käsikirja 2007: 20).

Mittaroinnissa on kiinnitettävä huomiota kaukolämmön, kaukokylmän, veden ja sähkön kulutukseen riittävässä laajuudessa. Laskutettavan energiankulutuksen lisäksi on mitattava keskeisimpiä talotekniikan suuria vesi- ja ilmavirroista lämpötiloihin, niin järjestelmätasolla kuin myös tila ja kerroskohtaisesti, jotta taloteknisten järjestelmien toiminnasta saadaan riittävästi tietoa. Saatua tietoa hyödynnetään rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseksi.

Suunnitteluvaiheessa piilee riskejä, jotka on huomioitava ennen toteutumisvaiheen aloittamista, jotta mittarointi saadaan toteutettua mahdollisimman toimivaksi tavoitteet huomioiden. Suunnitteluvaiheessa tehdyt päätökset ovat ratkaisevassa roolissa, kun rakennuksen energiatehokkuutta ruvetaan seuramaan ja virittämään (ToVa-käsikirja 2007: 67).

Uudis- ja korjausrakennusten energiankulutus on Suomessa noin 40 % kaikesta energiankulutuksesta. (Kurnitski 2012: 96). Rakennuksen energiankulutuksella ja sen optimoinnilla on mahdollisuudet huomattaviin taloudellisiin säästöihin vuositason tasolla (ToVa-käsikirja 2007: 20).



Kuva 1. Energian loppukäyttö sektoreittain 2015 (Ojanen ym. 2017: 14)

Rakennusten lämmityksen osuus edellä esitetystä on 25 %, lisäksi rakennuksen energiankulutus pitää sisällään myös valaistuksen ja käyttösähkön, sekä jäähdytyksen.

Rakennuksen energiankulutuksen tehostamisella on mahdollisuus taloudellisiin säästöihin, joka ilmenee diplomityön esimerkin myötä, joka tehtiin Senaattikiinteistölle.

Senaattikiinteistöjen Etelä-Suomen alueen rakennusten sähkönkulutus oli vuonna 2006 176 521 522 kWh. Rakennukselle tehtiin erilaisia toimenpiteitä energiatehokkuuden parantamiseksi, ja vuonna 2007 oli sähkön kulutus laskenut 175 164 980 kWh.

Eroa vuoden 2006 ja 2007 välillä oli 1 356 542 kWh. Silloisella energian keskihinnalla 7,6 snt/kWh muodostui säästöjä energiankulutuksen tehostamisella noin 105 000 € vuodessa. (Vehosmaa 2008: 6).

Rakennuksen energiatehokkuus ei ole kiinni pelkästään vain taloteknisten järjestelmien saneeraamisesta ja taloteknisten järjestelmien virittämisestä, vaan kokonaisuuden takia on muistettava, että rakennusteknistesti myös vaipan tiiveydellä on suuri vaikutus energiatehokkuuden parantamisessa (ToVa-käsikirja 2007: 112).

2.1 Mittarointijärjestelmän suunnittelu

Energiankulutuksen ja olosuhteiden seuraamiseksi suunnitellaan rakennukseen mittarointijärjestelmä, joka pitää sisällään seurantajärjestelmään liitetyt energiankulutusmittarit kaukolämmölle, kaukokylmälle, vedelle ja sähkölle, sekä verkosto ja tilakohtaiset anturit, kuten virtausmittarit, paineanturit, lämpötila-anturit ja hiilidioksidianturit. Kenttälaitteet liitetään automaatiojärjestelmään kaapeloinnilla valvonta-alakeskukseen, josta tieto välittyy tiedonsiirtoväylää pitkin seurantajärjestelmään. Seurantajärjestelmän avulla mitaustulokset saadaan käsiteltyä selkeään muotoon, jolloin niitä voidaan tarkastella erillisen valvomon näyttöpäätteeltä (Piikkilä 2012: 134).

2.1.1 Lämmitys-, jäähdytys- ja sähköenergian kulutusmittaukset

Energiatehokkuuden varmistaminen edellyttää, että rakennuksen energiankulutusta mitataan riittävän tarkasti. Energiankulutuksenmittaukset voidaan jakaa kolmeen kokonaisuuteen, jotka ovat lämmitysenergia, sähköenergia ja koneellinen jäähdytysenergia. Näiden alaisuudesta olisi syytä mitata seuraavat kokonaisuuDET (ToVa-käsikirja 2007: 64).

Lämmitys ja jäähdytysenergian osalta mitataan tilojen lämmityksen ja jäähdytyksen energiankulutus, ilmanvaihdon lämmityksen ja jäähdytyksen energiankulutus, käyttöveden lämmityksen energiankulutus, joiden lämmön lähteenä on kaupunkirakennuksissa yleisimmin kaukolämpö ja kaukokylmä. Energiankulutuksen laskennassa on myös erikseen mitattava sähkönkulutus iv-koneiden, pumppujen ja puhaltimien, sekä muiden apulaitteiden osalta (ToVa-käsikirja 2007: 64).

Sähkön osalta mitataan käyttösähköä, valaistuksen kuluttamaa sähköä, teknisten tilojen ja lvi-laitteiden sähkönkulutusta erillisten suurempien energiankulutuskohteiden, kuten laitoskeittiöiden, tietokonetilojen ja laboratorioiden sähkönkulutusta. Sähkön osalta mitataan myös mahdollisten vuokralaisten ja erillisten rakennusten sähkönkulutus. On syytä myös varautua mahdollisiin tulevaisuudessa tehtäviin muutoksiin, kuten nykypäivänä yleistäviin sähköautoihin (ToVa-käsikirja 2007: 64).

Perusratkaisuna sähkön mittausten toteutuksessa pidetään jakoa, jossa ilmanvaihtokonekeskusten, ilmanvaihdon jäähdytyskojeikkojen, keittiöiden ja muiden suurien sähkölämmityskuormien jakokeskukset on mittaroitu suoraan pääkeskukselta, eli jokaisella on oma sähkönkulutuksen mittauksensa.

Näiden lisäksi sähköpääkeskukselta mittaroidaan aluekohtaiset ryhmäkeskukset. Kerroskohtaisten pienempien taloteknisten laitteiden, kuten puhallinkonvektorien ja paneelien sähkönsyöttö toteutetaan aluekohtaisten ryhmäkeskusten kautta. (ToVa-käsikirja 2007: 83) Ilmanvaihtokoneiden energiankulutuksen mittaus toteutetaan erilliseltä nousukeskukselta, joka on vain ilmanvaihtokoneiden sähkönsyöttöä varten, jolloin ilmanvaihtokoneiden energiankulutus saadaan eroteltua muun sähkön kulutuksesta (IV-nousukeskus NK2, pääkaavio 2017: 2).

Näin toteutetulla sähkönkulutuksen mittauksella on mahdollista mitata erikseen LVI-laitteiden, ilmastoinnin jäähdytyskojeikkojen, palvelualuekohtaisten ryhmäkeskuksen, keittiön, sähkölämmitystä vaativien tilojen kulutus, jolloin kaikki mittauspisteet sijaitsevat sähköpääkeskuksessa, josta ne ovat kerralla luettavissa (ToVa-käsikirja 2007: 83).

Keskikokoisissa ja suuremmissa rakennuksissa on useampia ryhmäkeskuksia, jopa kerroskohtaisesti, jolloin mittauspisteitä on runsaastikin. Tehtäessä sähkönkulutuksen mittaamisesta ja seuraamisesta yksityiskohtaisempaa, edellyttää se, että ryhmäkeskuksessa on oma alamittaus valaisinsähkön kulutukselle, jolloin käyttösähkön kulutus saadaan laskettua vähentämällä ryhmäkeskuksen päämittauksesta valaistuksen energiankulutus. (ToVa-käsikirja 2007: 83)

Alamittauksille ei ole olemassa mitään vakiintunutta käytäntöä, vaan usein alamittaukset jätetään toteuttamatta, jolloin saatu energiankulutuksen informaatio sähkön kulutuksen jakaantumisesta ei ole energiatehokkuutta ajatellen riittävän tarkkaa, kulutuksella hoidetaan lähinnä laskutusta. Valaistuksen tehostamisessa piilee valtavasti säästöpotentiaalia mm. aikaohjauksia ja läsnäolotunnistimia hyödyntämällä. (ToVa-käsikirja 2007: 84, 105)

2.1.2 Järjestelmäkohtaiset seurantamittaukset

Pääenergiankulutuksen mittaukset eivät vielä yksistään riitä, kun halutaan selvittää, mihin ja miksi energiaa kuluu. Tavallisten LVI-järjestelmien mittarivarustuksen eli lämpötilanturien, ilma- ja vesivirta-anturien, sekä paineanturien lisäksi rinnalle on suunniteltava taloteknisten järjestelmien seurantamittauksia, kuten lämpötilamittauksia, ilmavirta ja painemittauksia, ja tarvittaessa sähkön alamittauksia, joiden avulla voidaan selvittää, mistä energiankulutus koostuu. (ToVa-käsikirja: 2007: 80)

Lämpötilamittausten tulokset tulisi rekisteröidä jatkuvalla periaatteella, jolloin poikkeavuuksien tulkitsemisessa on mahdollisimman täsmälliset tiedot. Välttämättömiin lämpötilojen mittauksiin lukeutuvat ulkoilman lämpötila, poistoilman lämpötila ennen ja jälkeen lämmön talteenoton ilmanvaihtokoneilla, ilmanvaihtokoneilta lähtevä tuloilman lämpötila, sekä riittävä määrä keskeisten ja erilaisten tilojen sisälämpötiloja. Keskeisten tilojen lämpötilojen mittauksien lisäksi on suositeltavaa mitata ilman laatua eli hiilidioksidipitoisuutta, joka saadaan yhdistettyä vaivattomasti lämpötilojen mittaukseen. Lisäksi on mitattava lämmitys, sekä jäähdytysjärjestelmien meno ja paluuviesien lämpötilat. (ToVa-käsikirja 2007: 80, 33)

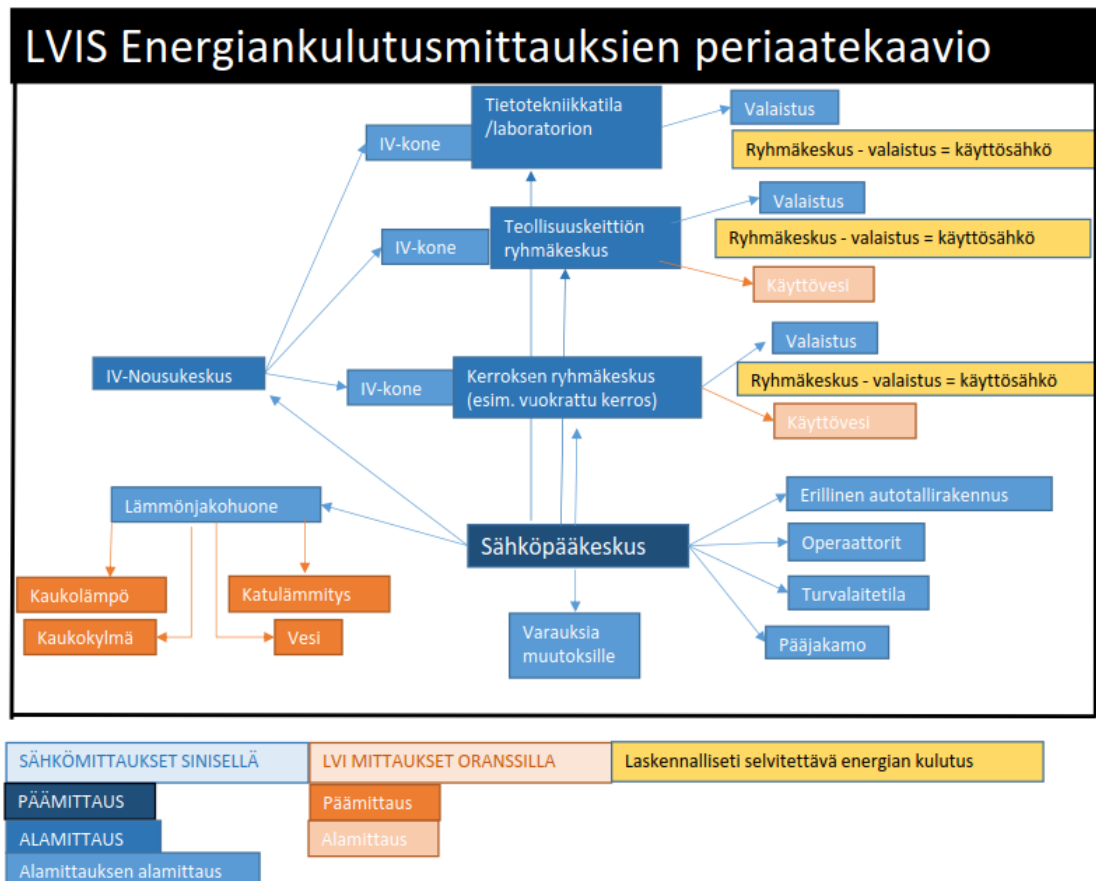
Ilmavaihtokanavistojen tilavuusvirtoja tulisi mitata kerros ja aluekohtaisesti riittävän laajasti, sekä vesikiertoisten järjestelmien tilavuusvirtoja, esimerkiksi lämmitys ja jäähdytysverkostoista, jolloin voidaan arvioida järjestelmien toimintaa. Käytettäessä rakennuksessa vapaajäähdytystä tulisi hyödynnettävä jäähdytysenergia mitata oikeilla ilman tilavuusvirtojen ja lämpötilojen mittauksilla, jotta rakennuksen energiantasetta laskettaessa ei jää selittämätöntä kulutuseroa. (ToVa-käsikirja 2007: 38)

Mikäli käytössä on puhaltimia, joiden tilavuusvirta vaihtelee, on tällöin mitattava sähköteho tilavuusvirran funktiona, jolloin saadaan riittävän hyvä kuva puhaltimen toiminnasta (ToVa-käsikirja 2007: 38).

Rakennuksen energiankulutuksen mittauksessa on suunnitteluvaiheessa kiinnitettävä huomioita, että mittaustulokset siirtyvät rakennusautomaatiojärjestelmään, josta ne ovat nähtävillä joko automaattisesti tai erillisestä käyttöraportista esimerkiksi trendiseuranasta (ToVa-käsikirja 2007: 33).

2.2 Mittarointijärjestelmän periaatekaavio

Mittarointijärjestelmän sisältö on riippuvainen kohteesta ja siitä, kuinka tarkoin energiankulutusta halutaan mitata esim. sähkön, kaukolämmön, kaukokylmän ja veden osalta. Kuvassa 2 on esimerkki mittarointijärjestelmän periaatekaaviosta toimistorakennuksessa, jossa on erilaisia käyttötarkoituksia, esim. vuokrattu toimistotila, kahvila, tietotekniikkatila ja erillinen autohallirakennus sekä operaattoreille ja turvalaitteille erikseen varatut tilat.

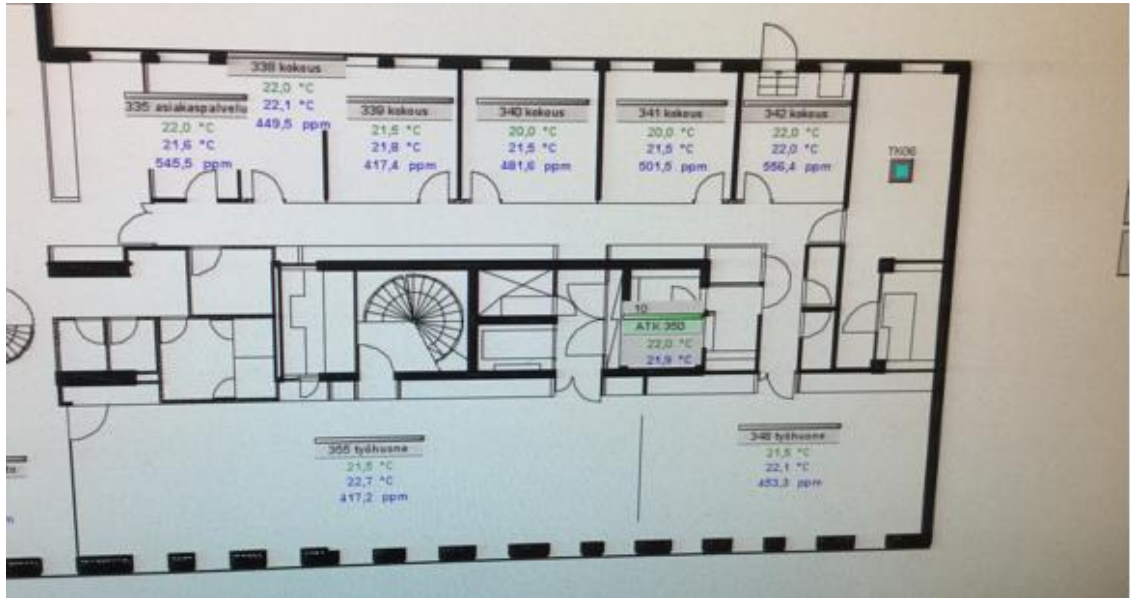


Kuva 2. LVIS-energiankulutusmittauksen periaatekaavio

Kuvan 2 periaatekaaviosta selviää toimistorakennuksen energianmittausjärjestelmä toteutus. Periaatekaaviosta hahmottuu sähkön, kaukolämmön, kaukokylmän ja veden mittauksset. Sähköllä on lisäksi ryhmäkeskuksissa alamittauksia, joista saadaan selville erikseen ryhmäkeskuksen sähkönkulutus sekä alamittauksella valaistuksen energian kulutus. Laskennallisesti saadaan selvitettyä käyttösähkön kulutus ryhmäkeskuksen energiankulutuksen ja valaistuksen energiankulutuksen erotuksena. Ilmanvaihtokoneen energiankulutus saadaan selvitettyä iv-nousukeskukseen asennetulla energiankulutuksen mittarilla. Käyttövedellä on myös oma alamittauksensa esimerkiksi käyttäjäkohtaisesti.

Toteutetun energiankulutusmittausjärjestelmän avulla saadaan eri käytössä olevien tilojen sähkönkulutuksen mm. laskutusta varten. Tarkalla energiankulutuksen mittaroinneilla voidaan todeta, mitkä rakennuksen osiot kuluttavat runsaasti energiaa ja mitkä vähemmän.

Rakennuksen keskeisten tilojen sisäilman lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden mittaustulosten tulkinta on toteutettava, niin että automaatiojärjestelmästä olisi yhdellä vilkaisuella havaittavissa tilakohtaiset olosuhteet, jolloin poikkeavuuksiin esim. lämpötilan äkilliseen nousemiseen reagoiminen on yksinkertaista. Yhtenä esitystapana on kuvan 3 mukainen paikannuskuva. (Piikkilä ym. 2008: 37)



Kuva 3. Paikannuskuva keskeisten tilojen lämpötila ja hiilidioksidimittauksista automaatiojärjestelmästä.

Visuaalisella ja yksinkertaisella näkymällä voidaan valvoa ja seurata eri palvelualueiden olosuhteita tehokkaasti (Piikkilä ym. 2008: 43).

2.3 Riskien kartoitus

Energiatehokkuuden saavuttamiselle suunnitteluvaiheessa on paljon riskitekijöitä, joita on pyrittävä huomioimaan kaikissa hankkeen vaiheissa alkaen suunnitteluvaiheesta.

Seuraavan kaltaiset riskit aiheuttavat yleisimmin ongelmia:

- Tilaajan ja käyttäjän tarpeita ei ole kattavasti määritelty.
- Suunnittelun lähtötiedoissa on puutteita.
- Eri suunnitteluratkaisuissa on keskinäisiä ristiriitoja tai piileviä suunnitteluvirheitä.
- Suunnitelmien rakennettavuus tai asennettavuus on vaikea.
- Tilaajan käyttötarpeet muuttuvat hankkeen aikana.
- Toteutusvaiheessa tehdään rakennus- tai asennusvirheitä.
- Hankittavat laitteet eivät vastaa ominaisuuksiltaan alkuperäisiä suunnitelmia.
- Kiinteistön käytettävyys ja toimivuus eivät vastaa tavoitteita.
- Tilojen ja rakennuksen terveellisyyteen ja turvallisuuteen liittyy riskejä.
- Vaikeat sääolosuhteet pilaavat rakenteita ja materiaaleja.
- Tavoiteltua energiatehokkuutta ei saavuteta.

(ToVa-käsikirja 2008: 41)

Suurin osa riskeistä liittyy hankkeen organisointiin, osapuolien valintaan, vastuujakoon ja alihankintoihin. Yleisimpänä riskien toteutumisen syynä on eri osapuolten halukkuus tehdä päätöksiä, jotka tähtäävät kustannusten minimointiin (ToVa-käsikirja 2008: 42).

Riskien suuruuteen ja toteutumiseen vaikuttaa mm. rakennuksen koko, korkeat sisäilmasto ja energiatehokkuusvaatimukset, jotka tuovat riskejä, niin suunnittelun kuin asen-

nuksien onnistumisen osalta. Ainutkertainen arkkitehtuuri on myös riskitekijä sen edellyttäessä taloteknisiltä järjestelmiltä sopeutumista ja ylimääraistä suunnittelua. (ToVa-käsikirja 2008: 45)

2.4 Kenttämittareiden esittely

Tässä osiossa esitellään mittausjärjestelmään liittyvät mittarit kaukolämmön ja kaukokylmän osalta, sekä kiinteistön vesimittari. Sähkön kulutuksen mittarit, sekä olosuhteiden mittareita kuten lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden mittarit, sekä erilaiset ilmanvaihtokoneeseen asennettava mittarit seuraamaan ilmanvaihtokoneen toimintaa. Kenttämittarit liitetään valvonta-alakeskuksiin erilaisia väylätekniikoita hyödyntäen, kuten M-Bus, LonWorks, BACnet tai Modbus avulla. (Piikkilä ym. 2012: 135) Edellä mainituista on suositeltavaa suosia M-Busia, joka on edellä mainituista protokollista ainoa standardoitu väylä (Huoneistokohtainen veden ja energian mittausjärjestelmä 2018: 1).

2.4.1 Kaukolämpö ja kaukokylmä

Kaukolämmön ja kaukokylmän kulutuksenseurantaan etäluettavaan ja automaatiojärjestelmään liitettäviä energiankulutusmittaria pulssilähtöjen, kuten M-Bus, LonWorks, BACnet tai Modbus välityksellä. (Multical 6M2 energiamittari 2018:1) Edellä mainituista on suositeltavaa suosia M-Busia, joka on edellä mainituista protokollista ainoa standardoitu väylä (Huoneistokohtainen veden ja energian mittausjärjestelmä 2018: 1).



Kuva 4. Kamstrupin kaukolämmön ja kaukokylmän mittari Multical 6M2

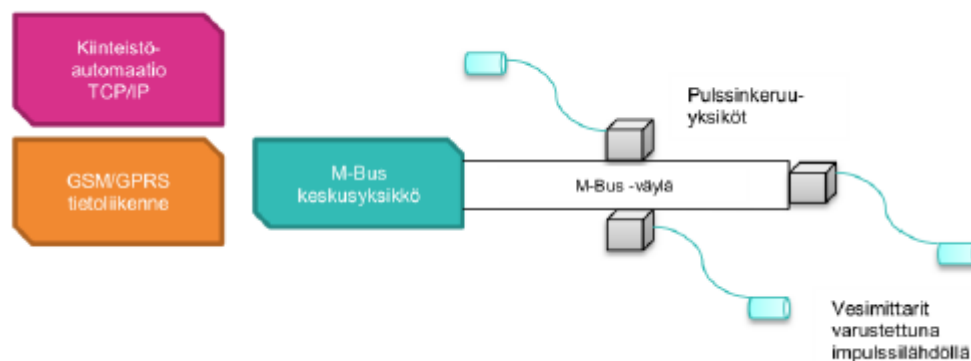
2.4.2 Vesimittarit

Impulssivesimittari on yleisimpiä mekaanisia vesimittareita



Kuva 5. B-Metersin kylmävesimittari GMDM-R impulssilaitteella

Vesimittari (kuva 5) on varustettu impulssilaitteella, joka lähettää langallista johtoa pitkin vedenkulutustiedon kiinteistökohtaiseen pulssinkeruuyksikköön, jonka saa kytkettyä paikallisesti väyläverkkoon, josta kulutustieto siirtyy automaatiojärjestelmään (kuva 6).



Kuva 6. Vesimittarin kytkentä väyläverkkoon ja automaatiojärjestelmään luentaa varten. (Korhonen 2015: 16)

2.4.3 Sähkömittarit

Sähkön kulutuksen mittarointiin ryhmäkeskuksissa voidaan käyttää DIN-kiskoon asennettavaa 3-vaiheista energiamittaria (kuva 7), joka voidaan liittää M-Bus-väylään, jota kautta kulutustieto pystytään siirtämään automaatiojärjestelmään tarkasteltavaksi (Energia-analysaattori EM24 2018: 1).



Kuva 7. Carlo Gavazzin energiankulutuksen mittari esim. valaistuksen, käyttösähkön tai veden kulutuksen seurantaan.

2.4.4 Automaatiomittarit

Kuvassa 8 on langaton lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden mittari, jonka sijoittelussa on huomioitava, ettei se ole auringonvalon alaisuudessa eikä tuloilmaelimen välittömässä läheisyydessä. Lämpötilamittarin mittaustulokset siirtyvät langattomasti vastaanottimelle, josta tieto kulkeutuu väylää pitkin reaaliajassa automaatiojärjestelmään. (SR04 Technical details 2018: 1)



Kuva 8. Thermokonin langaton lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden mittauslaite SR04

Kanavistojen ja lämpötilojen mittaukseen käytetään esimerkiksi kuvan 9 mittauslaitetta, jonka mittaussauva työnnetään kanavan sisälle ja mittauslaite asennetaan erillisellä asennustuella kanavaa vasten. Mittauslaite voidaan liittää valvonta-alakeskukseen, josta kanavan lämpötila saadaan siirrettyä valvontajärjestelmän näytölle luettavaksi. Anturia voidaan käyttää erillisellä suojataskulla myös putkistojen veden/nesteen lämpötilaan. (AKF10+ Technical details 2018: 2)



Kuva 9. Thermokon AKF10+ kanavan/vesiverkoston lämpötila-anturi

Putkistojen ja kanavistojen paineen mittaukseen käytetään erillisiä mittareita (kuva 10), jotka liitetään putki- tai kanavaverkostoon. Mittarit saavat virtansa valvonta-alakeskuksesta 0-10 V tai 4...20 mA:n jännitteellä, joka siirtyy heikkovirta kaapelia pitkin. (AKF10+ Technical details 2018:2)



Kuva 10. Putkistojen paineen mittaukseen Thermokonin DLM ja kanavistojen paineen mittaukseen Thermokonin DLP.

Ilmanvirtauksien mittaukseen tarvitaan päätelaite (kuva 11) sekä erillinen mittaussanturi, jolla saadaan mitattua ilmavirta, ilman nopeus ja paine-ero joko ilmanvaihtokanavasta

tai erilaisista puhaltimista. Mittauslaite voidaan liittää esimerkiksi Modbus-väylää valvonta-alakeskukseen. (Monikäyttöinen paine-erolähetin DPT-MOD 2018: 1)



Kuva 11. Ilmavirtauksien, ilmannopeuden ja paine-eron mittauslaite DPT-Flow

3 Mittausjärjestelmän rakentamisvaihe

Suunnitteluvaiheen jälkeen alkaa rakentamisvaihe, jolloin varmistetaan, että suunnitellut ratkaisut energiatehokkuuden ja järjestelmän toimivuuden kannalta toteutetaan niin että energiankulutuksen mittaus ja seurantajärjestelmä toimivat tavoitteiden mukaisesti. Toteutusvaihe voidaan jakaa kolmeen keskeiseen vaiheeseen LVISA-urakoitsijoiden osalta.

Ensimmäisenä vaiheena on hankinnat ja niiden hyväksytykset, joilla varmistetaan, että valituilla tuotteilla saavutetaan suunnitelmien mukaiset tavoitteet. Hyväksyttyjä hankintoja seuraa varsinaiset asennustyöt, asennustöiden valvonta ja omantöiden tarkastukset, joilla varmistetaan, että kaikki suunniteltu on asennettu. Viimeisenä vaiheena on toimintakokeet, joissa varmistetaan, että suunniteltu järjestelmä toimii ongelmitta ja suunnitellusti, jotta rakennus taloteknisin järjestelmineen voidaan luovuttaa tilaajan käyttöön ja ylläpidettäväksi. (ToVa-käsikirja 2007: 99, 102, 114)

3.1 LVI

Rakentamisvaiheessa LVI-urakoitsija käy suunnitelmat lävitse ja tekee omat ehdotuksensa laitehankinnoista hyväksyttäväksi suunnittelijalle, LVI-valvojalle sekä rakennuttajalle. Ehdotettujen laitevalintojen suoritusasoilmoitusten ja teknisten tietojen perusteella on pystyttävä todentamaan, että laitevalinnoilla saavutetaan ennalta määritellyt tavoitteet. Poikettaessa suunnitellusta tuotteesta, joka on ominaisuuksiltaan muutoin vastaava, on varmistettava yhteensopivuus muiden laitteiden ja järjestelmien kanssa. (ToVa-käsikirja 2007: 102, 103)

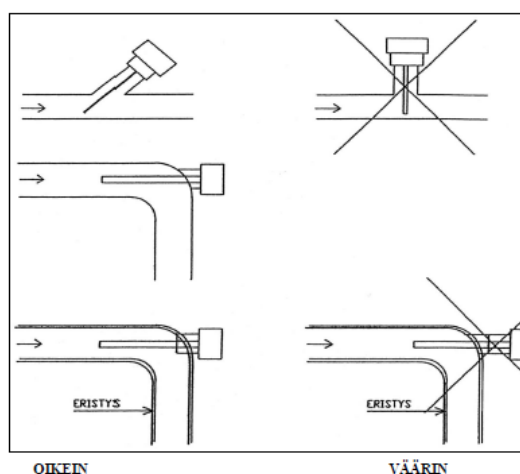
Hyväksyttyjen laitevalintojen jälkeen LVI-urakoitsija käy asentajiensa kanssa laitevalintojen asennettavuuden, jotta mahdolliset riskitekijät saadaan poistettua. Saneerauskohteessa voi tulla eteen tilanteita joissa on mahdollista joutua poikkeamaan laitetoimittajan ideaaliasennuksista. Ideaaliasennuksista poikkeamisella on riskinä siitä mahdollisesti seuraavat ylimääräiset äänet, haitallinen lisäpainehäviö tai poikkeusratkaisusta seuraa mittausepävarmuutta järjestelmään (ToVa-käsikirja 2007: 102).

Ideaaliasennuksista poikettaessa on aina käytävä toteutus lävitse LVI-suunnittelijan, LVI-valvojan ja rakennuttajan kanssa. Ensisijaisesti on pyrittävä löytämään vaihtoehtoinen toteutusratkaisu esimerkiksi toisen laitetoimittajan tuotteilla, jottei teknisistä tavoitteista tingitä (ToVa-käsikirja 2007: 102).

Toteutetuista asennuksista pidetään LVI-valvojan, suunnittelijan, sekä muiden asianomaisten kanssa laite ja asennustapatarkastuksia, jossa tarkastetaan, että asennukset on suoritettu asennusohjeiden mukaisesti. Ilmavaihdon ja putkistojen osalta suoritetaan tiiveys/paineokeet.

Sisäilmaston toimivuuden kannalta on keskeistä, että tilakohtaisesti tarkastetaan lämmönluovuttimien asennukset, ilmanvaihdon päätelaitteiden sijoitus ja asennukset, sekä lämpö- ja vesijohtojen ja ilmastointikanavien lämmön ja kosteudeneristykset. (ToVa-käsikirja 2007: 103)

Energiankäytön ja energiankulutuksen mittaukseen liittyen tarkastetaan ilmastointikoneista lämpötilojen mittauksen, jotta saadaan selvitettyä lämmöntalteenoton hyötysuhde, johon liittyen jäte- ja poistoilman mittaustantureiden sijoitus tulee olla asennusohjeen mukainen. Ilmastointikoneiden ominaissähkötehon sekä ilmastointikoneen ja erillispoistojen ilmavirtojen tulee olla mitattavissa. Putkistojen nestevirtojen ja lämpötilojen mittaustantureiden sijoitus on varmistettava kuvan 12 mukaisesti, jotta saatu mittaustulos on varmasti täsmällinen. (ToVa-käsikirja 2007: 103)



Kuva 12. Lämpötila-anturien sijoitus putkistoon (LVIAJ Työselitys 2017)

3.2 Rakennusautomaatio

Rakennusautomaatiourakoitsijan työtä ohjaa kohteen työselitys, kytkentäkaaviot ja muut suunnitelma-asiakirjat (ToVa-käsikirja 2007: 106); niihin tutustuminen on aloitettava riittävän ajoissa. Ennen varsinaisten työmaatöiden aloittamista luodaan projektiaikataulu, joka yhteen sovitetaan muiden talotekniikkaurakoitsijoiden ja työmaan kanssa mahdollisuuksien mukaan (Piikkilä ym. 2012: 36).

Kun LVIS-urakoitsijoiden laitevalinnat on hyväksytty, tarkastetaan, että ennalta valitut toimilaitteet ja niiden ominaisuudet mahdollistavat suunnitelman mukaisen toiminnan. Kaikki toimilaitteet eivät automattisesti toimi keskenään, vaan on riskinä, että tiedonsiirto ei toimi laitteen käyttämän tiedonsiirtomenetelmän vuoksi (Piikkilä ym. 2012: 29).

Automaatiourakoitsija hyväksyttää laitevalintansa tilaajalla sekä muilla asianomaisilla ja suorittaa hyväksyntöjen perusteella laitetilaukset. Kiireisimpinä laitetilauksista ovat putkiurakoitsijalle toimitettavat venttiilit ja suojataskut, joiden toimitusajat ovat useita viikkoja ja joiden tarve työmaalla ilmoitetaan yleensä liian myöhäisessä vaiheessa. Muut laitetilaukset, kuten peltimoottorit, anturit ja lähettimet, säätimet ja moduulit tilataan, kun muiden talotekniikkaurakoitsijoiden asennukset rupeavat valmistumaan, jotta niiden yhteensovitus voidaan vielä tarkastaa (Piikkilä ym. 2012: 37, 38).

Ennen rakentamisvaihetta on tehtävä myös kytkentäsuunnittelu eli työsuunnitelmat kaapelointeja varten, jotta sähköurakoitsijalle kuuluvat putkitukset ja kaapelointityöt valvonta-alakeskusten, kenttälaitteiden ja ryhmäkeskusten välillä voidaan toteuttaa ajoissa. Työsuunnitelmat on tehtävä myös valvonta-alakeskusten valmistajalle, jotta alakeskuk- sen sisäinen tekniikka rakennetaan suunnitelman mukaiseksi ja keskukset saadaan toimitettua ajoissa työmaalle.

Varsinaiset rakennusautomaatiotyöt kohteessa aloitetaan yleensä melko myöhäisessä vaiheessa johtuen siitä, että asennustyöt ovat riippuvaisia putki-, ilmanvaihto- ja sähkö- töiden etenemisestä. Putki- ja ilmanvaihtourakoitsijalta edellytetään, että ilmanvaihtoko- neet pumppuryhmineen, palopellit, säätölaitteet ovat asennettuna. Sähköurakoitsijalta edellytetään, että pääjohtoreitit sovittuine putkituksineen ja kaapelointeineen on tehty valmiiksi. Tilakohtaisten huonesäätimien ja mittausantureiden asennukset edellyttävät rakennustöiden valmistumista pintojen ja pölyävien töiden osalta (Piikkilä ym. 2012: 36).

Automaatiourakoitsijan toimintaan kuuluu myös ohjelmistosuunnittelu, jolla saadaan suunnitelmissa määritellyt prosessin säädöt, logiikat, ehdolliset hälytykset ja toiminnot sekä niiden prioriteetit ja aikaohjelmat toimimaan. Ohjelmoinnilla saadaan määrättyä halutulle koneelle tai prosessille käynnistymis- ja pysähtymisajat esimerkiksi toimiston aukioloaikojen perusteella tai tilaan tulevien käyttäjien hiilidioksidiarvojen kohoamisella hyödyntäen mittausanturia. Ohjelmistojen laatimisen ja kenttälaitesennuksien jälkeen voidaan aloittaa pistetestaus, jolla varmistetaan, että kenttälaitteet näyttävät oikeita arvoja alakeskuksella ja valvomon päätteellä. (Piikkilä ym. 2012: 39)

Automaatiourakkaan kuuluu myös valvomografiikka ja käyttöpaneeli, jolla saadaan havainnollistettua taloteknisten järjestelmien yhteistoimintaa, josta nähdään esimerkiksi kerroskohtaiset olosuhteet ja kerroskohtaisiin olosuhteisiin vaikuttavan ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmän asetusarvot sekä todelliset arvot. Valvomosta käsin voidaan muuttaa asetusarvoja olosuhteiden muuttamiseksi. (Piikkilä ym. 2012: 39)

3.3 Sähkö

Valaistuksen energiankulutukseen vaikuttaa merkittävästi laitevalinnat, joissa piilee suuri säästöpotentiaali, joten on tärkeää tehdä valaisinhankinnat huolellisesti tavoitteista tinkimättä (ToVa-käsikirja 2007: 105).

Valaistuksen valinnassa tulee kiinnittää huomiota, että valituilla valaisintyypeillä on mahdollisimman suuri valotehokkuus liitäntälaitteen ja pitkä hyötypolttoikä ottaen huomioon valon laatuvaatimukset (värilaji, värintoisto ja luminanssi) ja käyttövaatimukset (koko, valovirta, syttymis- ja palamisominaisuudet, himmentämismahdollisuudet). Valituilla valaisimilla pyritään saavuttamaan mahdollisimman hyvä valaistustulos ja valaistuksen hyötysuhde. (ToVa-käsikirja 2007: 104) Energiantehokkuuden optimoimisessa tulisi käyttää tarpeenmukaisia valaistustehoja silloin kun säätöjärjestelmä sen mahdollistaa (Loisa ym. 2015: 13).

Valaisinasennuksissa on kiinnitettävä huomiota, että valaisimet on asennettu tarkoituksen mukaisella tavalla sekä valaistuksen ohjaukseen vaikuttavat anturit (läsnäolo-, liike- ja valoisuusanturit) on asennettu niin, että valaistusjärjestelmän tarkoituksenmukainen toiminta on mahdollista (ToVa-käsikirja 2007: 105).

Hyödynnettäessä päivänvaloa on kiinnitettävä huomiota auringonsuojaukseen sekä häikäisyn, liikalämmön ja lämpöhäviöiden rajoittamiseen. Mikäli näihin ei kiinnitetä huomiota, on todennäköistä, että jäähdytysenergian tarve kasvaa, kun lisätään päivänvalon osuutta valaistuksessa.

Työmaavaiheessa sähkön energianmittauksen mahdollistamiseksi varmistetaan, että sähköpääkeskuksessa on kokonaissähkökäytön mahdollistava mittaus, sähköpääkeskuksessa on nousuliittimet siirrettävälle kokonaiskuormituksen mittaukselle, nousukohtaista kuormitusseurantaa varten pääkeskuksen lähdoissa on virtapihtimittauksen mahdollistavat johtolenkit (ToVa-käsikirja 2007: 104).

Rakentamisvaiheessa on varmistettava, että loistehon kompensoinnin tarve on selvitetty. Kompensointilaskelmien osoittaessa, ettei keskitettyä laitteistoa tarvita, on kuitenkin suositeltavaa jättää varaus mahdollista myöhempää toteutusta varten. Loistehoa voidaan ottaa tai tuottaa jakeluverkkoon ilmaiseksi vain n. 20 % pätötehon huippuarvosta. Loisteho kompensoidaan tarvittaessa sähköpääkeskukseen kytkettävällä kompensointilaitteella. (ToVa-käsikirja 2007: 103)

Sähkönjakelujärjestelmän toimivuudessa on syytä kiinnittää mm. että jakokeskuksilla on omat nousujohtonsa, sähköverkostossa on kuormitusvaraa ja pistorasioita on tilakohtaisesti asennettu riittävästi käyttäjä huomioiden (ToVa-käsikirja 2007: 104).

3.4 Toimintakokeet

Ennen rakennuksen luovutusta käyttäjälle on kaikkien järjestelmien ja laitteiden toiminta testattava (Rosenberg 2017: 23). Toimintakokeet ovat urakoitsijan laadunvarmistusmenetelmä, jolla osoitetaan rakennuttajalle rakennuksen toimivuus suunnitelmien mukaisesti, turvallisesti ja energiatehokkaasti (Piikkilä ym. 2012: 213).

Toimintakokeet on aikataulutettava riittävän aikaiseen vaiheeseen ennen hankkeen luovutusta, jotta mahdolliset virheet ja puutteet ehditään korjaamaan ajoissa sekä tarvittavat LVI-laitteiden säädöt ja viritykset ehditään tekemään kiireettömästi (Rosenberg 2017: 23).

Edellytyksenä toimintakokeiden suorittamiselle on, että konehuoneet, sähkökeskukset ja valvomotilat ovat valmiit, alustavasti siivotut sekä pölyävät työt on tehty. Rakennuksen muiden tilojen on oltava rakennusteknisesti valmiit seinien, ovien, ikkunoiden ja maa-laustöiden osalta (Piikkilä ym. 2012: 214).

Rakennuksen toiminnan tarkastus voidaan jakaa pienempiin kokonaisuuksiin seuraavasti:

Urakoitsijoiden omantyyön tarkastukset on pidetty ja havaitut viat ja puutteet on korjattu ennen toimintakokeita. Urakoitsija varmistaa, että järjestelmät ja laitteistot toimivat suunnitellusti, jonka jälkeen urakoitsija ilmoittaa osaltaan toimintakoevalmiudesta.

Toimintakokeiden toteutus suoritetaan yleensä pääurakoitsijan toimintakoeinsinöörin toimesta, joko koko rakennuksen osalta tai pistokoemaisesti riippuen kohteesta. Toimintakokeisiin osallistuu LVISA-urakoitsijat, LVI-valvoja, sekä rakennuttajan edustaja. Toimintakokeissa tarkastetaan mm. puhaltimien, pumppujen ja lämmöntalteenottolaitteiden pyörimissuunnat, sekä säätimien, toimilaitteiden ja antureiden toiminta sekä laitekilvet (Rosenberg 2017: 27).

Toimintakokeiden jälkeen suoritetaan mittaus- ja säätötyöt.

Koekäyttö suoritetaan, kun järjestelmät on viritetty ja rakennustekniset työt on viimeistely. Olosuhteet ja kuormitukset koekäytössä ovat luonnolliset tai simuloitusti järjestetyt. Koekäytön tavoitteena on todeta, että laitteet tai järjestelmät toimivat suunnitellusti, käyttäminen on turvallista ja sovitut arvot saavutetaan (Rosenberg 2017: 28).

Yhteiskoekäytössä varmistetaan, että kokonaisten alueiden järjestelmät toimivat suunnitellusti. Tarkastetaan, että talotekniset järjestelmät toimivat keskenään ja varmistetaan, että järjestelmä toimii olosuhteisiin nähden energiatehokkaasti. Yhteiskoekäytöt suoritetaan sekä normaalissa käyttötilanteessa että poikkeus- tai kriisitilanteessa (Rosenberg 2017: 29). Yhteiskäytössä hyödynnetään automaatiojärjestelmää valvomosta käsin tai etäyhteydellä, jossa on käytettävissä trendi- ja historiatietoja, joiden perusteella voidaan tehdä tulkintoja järjestelmän toiminnasta.

4 Mittausjärjestelmän käyttö ja ylläpito

Urakoitsijan luovutettua rakennus tilaajan käyttöön on käyttäjän syytä varmistua osaltaan, että rakennuksen energiankulutusta seurataan ja energiankulutukseen puututaan tarpeen vaatiessa.

Tilaajan on varmistettava, että tarvittavat käyttö ja huolto-ohjeet on toimitettu sähköisessä tai muussa halutussa muodossa, kun rakennus on luovutettu tilaajalle, jotta käytön aikaiset huoltotoimenpiteet ovat tiedossa, tehdään oikeaoppisesti ja varmistetaan järjestelmien toimivuus.

Käytönopastuksien osalta on varmistettava, että kaikki huoltohenkilöstön jäsenet on perehdytetty uuteen huoltokohteeseen ja hallitsevat sen taloteknisten järjestelmien käytön.

Tilaajan on syytä todeta rakennuksen käyttöönoton myötä niin käyttäjien kuin energiatehokkuuden kannalta, että rakennuksen sisäilmasto toimii todellisilla käyttäjällä kuormilla suunnitellusti.

Käyttöönoton myötä on varmistettava, että talotekniset järjestelmät ja rakennuksen vaippa ovat harmoniassa ulkoilman olosuhteista huolimatta, etteivät mahdolliset lämpö- tai ilmapuodot sekoita rakennuksen teknisten järjestelmien toimintaa.

Energiankulutusta on aloitettava seuraamaan välittömästi käyttöönoton jälkeen. Energiankulutuksesta on pidettävä kuukausittain jatkuvaa arviointia varten seurantapalaveri, jossa erilaisten menetelmien kuten vikadiagnoostiikan ja poikkeusseurannan, vertaisanalyysien tai käyttäjäpalautteiden avulla korjataan mahdollisia epäkohtia rakennuksen teknisten järjestelmien toiminnassa.

Käytön aikana voidaan vertailla myös laskennallista ja toteutunutta energiankulutusta energianmittausjärjestelmän avulla ja tehdä sen perusteella johtopäätöksiä rakennuksen energiatehokkuudesta.

(ToVa-käsikirja 2007: 108)

4.1 Käyttö ja huolto-ohje

Käyttö- ja huolto-ohje sisältävät rakennuksen ja sen rakennusosien kunnossapidon sekä hoidon ja huollon lähtötiedot, tavoitteet, tehtävät ja ohjeet omistajalle ja ylläpito-organisaatioille sekä asukkaille ja tilojen käyttäjille annettavat ohjeet, joiden toimitus on sovittava ennen urakan vastaanottoa (Rakennuksen käyttö ja huolto-ohje 2000: 4).

4.2 Käytönopastukset

Ennen rakennuksen luovutusta tilaajalle on urakoitsijoiden pidettävä käytönopastukset, jossa varmistetaan, että käyttäjät ja huoltohenkilökunta hallitsevat järjestelmän ja osaavat käyttää niitä oikeaoppisesti. Erityisesti tämä korostuu rakennusautomaatiojärjestelmän osalta, jolla seurataan rakennuksen olosuhteita, tunnistetaan ongelmatilanteita ja pystytään vaikuttamaan energiankulutukseen (Piikkilä ym. 2012: 215).

Käyttökoulutuksesta on laadittava etukäteen koulutusohjelma, jota käyttökoulutustilaisuudessa noudatetaan. Koulutuksen pitäjän tulee hallita järjestelmänsä ja hänellä olisi suotavaa olla kokemusta kouluttamisesta. Käyttökoulutus kannattaa jakaa kahteen osaan, jotta käyttäjät ehtivät omaksua asiat riittävän hyvin. Käyttökoulutuskertojen välillä tulisi käyttäjällä olla mahdollisuutta testata järjestelmää, jotta mahdolliset hankalammat asiat voidaan kerrata seuraavassa koulutustapahtumassa. Käyttökoulutus tulee aina suunnitella etukäteen ja huomioida kohderyhmän tietotaidot aiheeseen liittyen

Käyttökoulutuksen päätteeksi kaikki osallistujat varmentavat osallistumisensa ja ennen kaikkea ymmärryksensä järjestelmän toiminnasta.

Maallikoiden käyttöön tarkoitettujen laitteiden, kuten lämpötilansäätimien, valaistuksen ohjauslaitteiden ja ilmanvaihdon tehostuspainikkeiden käytöstä on urakoitsijan laadittava selkeät kirjalliset ohjeet, jotka toimitetaan käyttäjille sekä lisätään huoltokirjaan (Piikkilä ym. 2012: 216).

4.3 Sisäilmaston varmistaminen

Käyttöönoton myötä seurataan sisäilmaston säilymistä samalla tasolla kuin toimintako-keissa. Vasta käyttäjien saavuttua rakennukseen päästään todellisissa olosuhteissa arvioimaan, kuinka sisäilmasto toimii. Ihmiset tuovat tiloihin lämpösäteilyä ja ulos hengittäessään hiilidioksidia, johon ilmastointijärjestelmän on reagoitava. Tällöin on mahdollista muun muassa, että ilmanvaihdon äänet kasvavat ja ilmanvaihdon sähköntarve kasvaa.

Oheinen tarkastuslista pitää sisällään huomioitavat ja tarkastettavat asiat sisäilmaston kannalta:

- Ilmanvaihdon määrä ja hygienia
- Lämpöolot (lämpötilat, veto, ilman kosteus)
- Painesuhteet ulos tai rakennuksen sisään
- Sisäilman laatu (kemialliset, pöly, kuidut)
- Äänenpainetaso.

Tavanomaisia sisäilmaston mittauksia on suositeltavaa tehdä tasaisin väliajoin. Mittaus-tuloksissa voidaan hyödyntää viisaasti suunniteltua automaatiojärjestelmää, jossa on riit-tävästi mittausantureita eri tiloissa. Tällöin seuranta voidaan tehdä säännöllisesti ja rea-goida poikkeamiin, ennen kuin käyttäjät niistä huomauttavat.

(ToVa-käsikirja 2007:120)

4.4 Vaipan tiiveyden varmistaminen

Vaipan tiiveys on suuressa roolissa taloteknisten järjestelmien toimivuuteen, joten vii-meistään käyttö- ja ylläpitovaiheessa on vaipan tiiveys tarkastettava mittauksin (ToVa-käsikirja 2007: 119).

Rakennuksen tiiviys mitataan paine-eromenetelmällä, jossa tukittavaan tilaan aiheutetaan paine-ero verrattuna ulkoilmaan. Tilaan asennetaan ulko-oveen tai ikkunaan puhallin tai hyödynnetään rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmää paine-eron luonnissa. Tilaan puhalletaan yhden tunnin ajaksi ennakkoon laskettu ilmamäärä, joka vastaa 50 pascalin paine-eroa ulkoilmaan nähden. Puhallinta pidetään tunnin ajan käynnissä, jonka perusteella selviää tilaan puhallettavan ilman määrä paine-eron säilyttämiseksi. (q_{50}) Tällöin saadaan laskettua rakennuksen ilmanvaihtoluku yhtälöllä 1. (Paloniitty 2013: 156)

(1)

$$n_{50} = \frac{Q_{50}}{V}, \text{ jossa}$$

n_{50} on rakennuksen ilmanvaihtoluku 50 Pa paine – erolla $\left[\frac{1}{h}\right]$

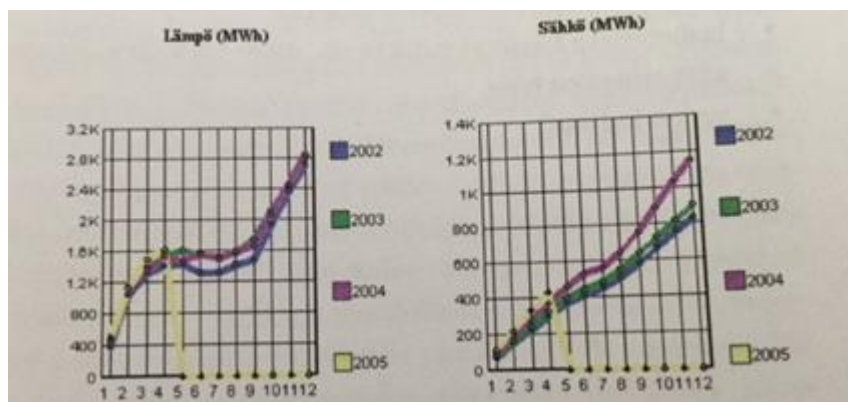
Q_{50} on Painekekeella mitattu ilmavirtaus 50 Pa paine – erolla $\left[\frac{m^3}{h}\right]$

V on rakennuksen tai mitattavan osan sisätilavuus $[m^3]$

4.5 Energiankulutuksen jatkuva seuranta ja arvioiminen

Energiatohokkuuden varmistaminen on saatava osaksi rakennuksen käyttö ja ylläpito-toimintoja. On tärkeätä, että energiatohokkuuden toteutumista valvoo johdon lisäksi myös valvomo ja huoltohenkilökunta. Energiankulutusta pitäisi arvioida säännöllisesti eli vähintään kuukausittain, jolloin käydään lävitse energianmittausjärjestelmän mittaustuloksia sekä käydään läpi tallennettuja olosuhdetietoja kerros ja tilakohtaisesti. Säännöllisissä tapahtumissa pitäisi myös selvittää, mistä poikkeamat mahdollisesti johtuvat (ToVa-käsikirja 2007: 121).

Rakennuksen lämmön, sähkön ja veden energiankulutuksen toteutumia pitäisi käyttöönoton yhteydessä ryhtyä vertaamaan vastaaviin mittaustuloksiin, jolloin havaitaan helposti lyhyen ja pitkän välin eroavaisuudet. Tällöin luodaan myös edellytykset erilaisten tehostamis- ja säästötoimenpiteiden vaikuttavuuden arvioinnille. (ToVa-käsikirja 2007: 121)



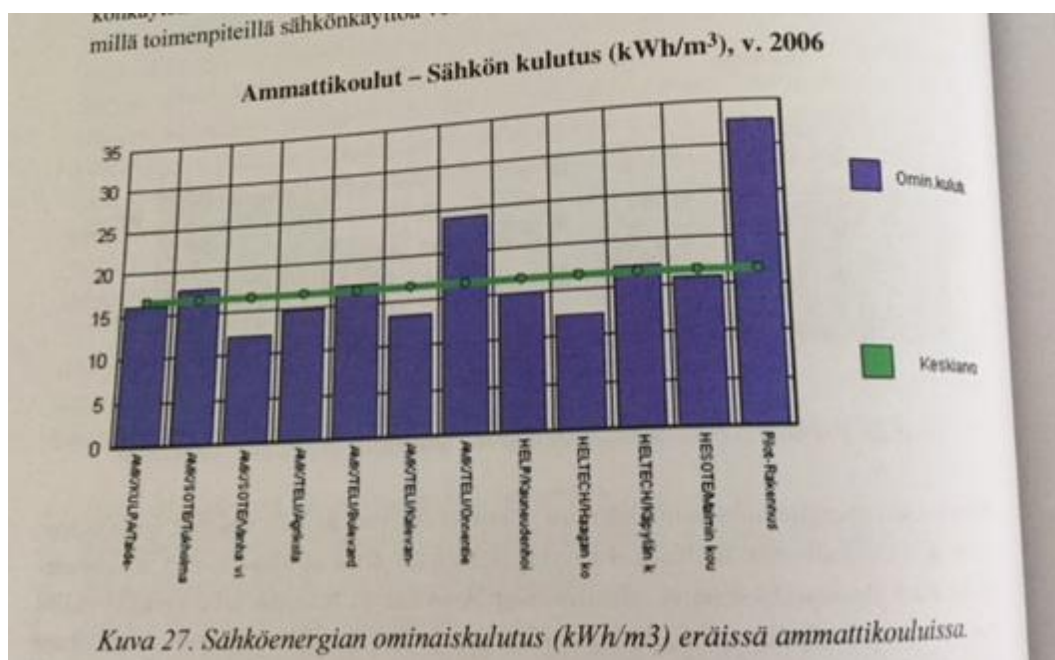
Kuva 13. Tyypillinen kuukausikulutukseen perustuva kulutuskehityksen graafinen esitys (ToVa Käskirja 2007: 121)

Kuvan 13 grafiikasta voidaan päätellä mm. lämmönkulutuksen olleen vuonna 2002 pienempää, kuin 2003 tai 2004, joka voi johtua esimerkiksi leudommasta talvesta. Sähkön kulutuksen nousemisesta vuonna 2004 voidaan muiden grafiikoiden avulla päätellä, että rakennuksen käyttö on kasvanut (ToVa-käskirja 2007: 121).

Tärkeätä on, että poikkeamat selvitetään ja mahdollinen tarpeeton kulutus saadaan eliminoidua mahdollisimman pikaisesti. Toisinaan ja yleensä energiankulutus nousee tai laskee perustellusta syystä (ToVa-käskirja 2007: 121).

4.5.1 Vertaisanalyysien hyödyntäminen

Yhtenä energiankulutuksen tarkastelukeinona on verrata energiankulutusta samantyyppiseen tai -ikäiseen rakennukseen. Vertailun avulla tarkastetaan, onko rakennuksen energiankulutus oikealla tasolla. Tarkastus voidaan suorittaa esimerkiksi koko rakennukselle laskettujen ominaiskulutuslukujen (kWh/m^2 , kWh/m^3) avulla. Mikäli vertailussa tulee esiin poikkeamia, on perusteltua selvittää poikkeaman syyt tarkemmin. Tätä menetelmää kutsutaan vertaisanalyysin hyödyntämiseksi.



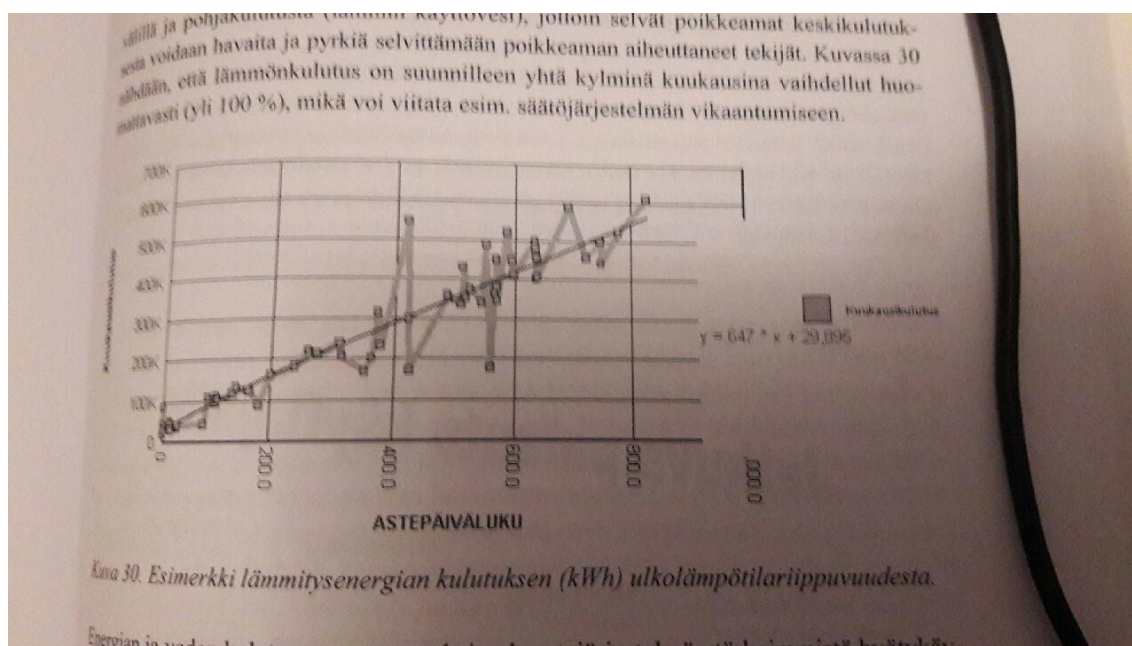
Kuva 27. Sähköenergian ominaiskulutus (kWh/m³) eräissä ammattikouluissa.

Kuva 14. Ammattikoulujen sähkönkulutus vuonna 2016 (ToVa-käsikirja 2007: 124)

Kuvan 14 esimerkkidiagrammista voidaan päätellä, että pilot-rakennuksen ominainen energiankulutus poikkeaa keskiarvosta merkittävästi, ja näin ollen tehdä päätelmiä vertailuanalyysejä hyödyntäen. (ToVa-käsikirja 2007:125)

4.5.2 Poikkeusseuranta ja vikadiagnostiikka

Energiankulutuksen vaihtelu eri osien välillä ja eri aikoina voi antaa vihjeitä siitä, missä mahdollista laskennallista suuremman energiankulutuksen aiheuttaja on. Kuvasta 15 hahmottuu, että lämmönkulutus on suunnilleen yhtä kylminä kuukausina vaihdellut huomattavasti yli 100 %, mikä voi viitata säätöjärjestelmän vikaantumiseen.



Kuva 15. Esimerkki lämmitysenergian kulutuksen (kWh) ulkolämpötilariippuvuudesta (ToVa-käsikirja 2007: 127)

Energian ja veden kulutusseuranta on yksi valvontajärjestelmän tärkeimmästä hyötykäytöstä. Menekkiseurannassa mittarit luetaan kiinteistövalvonnan kautta automaattisesti, jolloin kiinteistöhoitajan on helppo hallita energian ja vedenkäyttöä. Esim. lämpöenergian seurantaan on olemassa erilaisia ohjelmia, jotka laskevat kulutusarvion vuositasolla (ToVa-käsikirja 2007: 127).

Vikadiagnostiikkamenetelmät jakautuvat vian havaitsemismenetelmiin ja vian paikallistamismenetelmiin. Vian havaitsemismenetelmillä voidaan todeta, että järjestelmässä on jokin vika, mutta ne eivät kerro, mikä vika on kyseessä ja missä kohdassa järjestelmää se sijaitsee. Yksinkertaisimmillaan jo lämpötilan tai energiankulutuksen seuranta voidaan pitää vian havaitsemismenetelminä. Vian syyn ja paikan määrittämiseen käytetään vian paikallistamismenetelmiä (ToVa-käsikirja 2007: 128).

4.5.3 Käyttäjäpalaute ja järjestelmien jatkuva varmistaminen

Käyttäjäkyselyillä selvitetään käyttäjien käsitys lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien toiminnasta. Tarvittaessa tehdään säätöjä. Mikäli rakennuksessa esiintyy vetohaittoja tai kylmiä pintoja, voidaan toteuttaa kaksivaiheinen lämpökuvaus ja tarvittaessa vetomittauksia. Mikäli rakennuksen vaipan lämpötekniikan toimivuuden mittauksia ei ole voitu tehdä sääolosuhteiden takia, mittaukset on tehtävä viimeistään tässä vaiheessa.

Järjestelmien jatkuvaan varmistamiseen liittyvät seikat voidaan koota ylläpitäjälle seuraavanlaisiksi muistilistaksi:

- Seuraa käyttäjien tyytyväisyyttä ja korjaa epäkohdat.
- Seuraa käyttöraportteja ja reagoi poikkeamiin verrattuna tavoitearvoihin.
- Tee säännöllisesti manuaalisia mittauksia esim. parin vuoden välein.
- Tarkista riskipaikkoja (esim. kosteustilojen kartoitukset).
- Varmista, että huoltokirjaa käytetään ja päivitetään.
- Tarkista käyttöhenkilöstön koulutustarve säännöllisesti.
- Hyödynnä rakennusautomaatiosta saatavia raportteja.
- Huolehdi puutteiden ja epäkohtien nopeista korjauksista.

(ToVa-käsikirja 2007: 129).

4.6 Laskennallisen ja toteutuneen energiankulutuksen vertailu

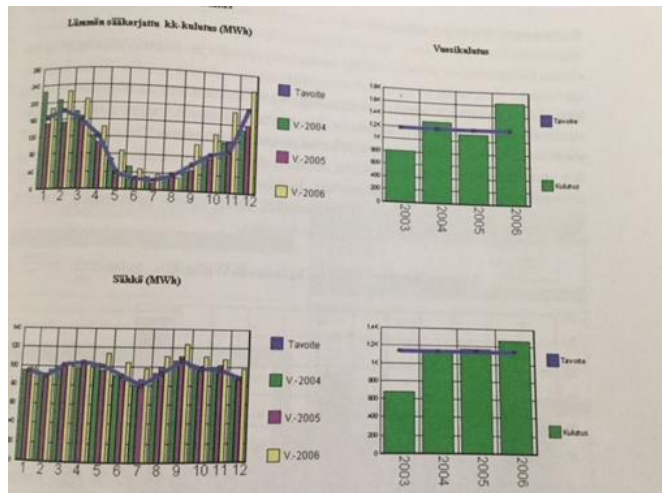
Energiankulutusta voidaan arvioida myös vertailemalla toteutunutta ja laskennallista kulutusta. Uusille ja 2008 jälkeen saneerattaville rakennuksille määritellään E-luku. Laskennallisella tarkastuksella on määritelty rakennuksen tarve ostettavalle lämpö, kylmä ja sähköenergialle. Kun rakennuksen energiankulutus on saatavilla selville energiankulutuksen seurantajärjestelmän avulla, voidaan verrata laskennallista ja toteutunutta energiankulutusta toisiinsa. (ToVa-käsikirja 2007: 122)

Vertailun perusteella voidaan osoittaa mahdolliset energiankäytön tehostamistarpeet. Tehostamistarpeita varten rakennuksessa oleva kattava olosuhteiden seurantajärjestelmä, joka auttaa selvittämään energiankulutuksen kipupisteitä. (ToVa-käsikirja 2007: 122)

Ensimmäistä kertaa tehdessä laskennallisen ja mitatun energiankulutuksen vertailua voidaan olla kaukana toisista, mikä voi johtua useastakin eri epävarmuustekijästä, jotka on huomioitava ennen johtopäätösten tekemistä. Epävarmuustekijöitä ovat muun muassa

- ilmanvaihtomäärät, jos on muuttuva tilavuusvirta
- laitteiden todelliset hyötysuhteet ko. käyttötilanteessa (LTO, puhaltimet, pumput)
- rakennuksen käyttöajat, tavat ja käyttäjämäärä
- sisäiset energian mittausten mukaan
- laskennassa käytetyt mitat (sisä-, ulko- vai kokonaismitat)
- sääkorjausten teko
- veden kulutus.

Erityisen tarkkana on oltava, kun arvioidaan rakennuksen ilmanvaihtomääriä, sisäisiä lämpökuormia ja tiiviyttä, sillä näillä kaikilla voidaan helposti selittää ero mitatun ja laskennallisen energiankulutuksen välillä, kuten kuvasta 15 voidaan päätellä (ToVa-käsikirja 2007: 122).



Kuva 16. Esimerkki tavoitekulutusten ja toteutuneiden kulutusten vertailusta. (ToVa-käsikirja 2007: 123)

Herkkyystarkastelu auttaa arvioimaan energiankulutuksen mahdollista vaihtelua, esim. ilmanvaihdon ilmavirrat ja käyttöajat, ilmanvaihdon lämmön talteenotto, rakennuksen ilmapitävyys yleisimmin selittävät vaihteluita.

5 Energiatehokkuusluokan määrittely

Allianssin hankesuunnitteluvaiheessa asettama rakennuksen energiatehokkuusluokka on B. Hankesuunnitelmavaiheessa tehtiin energiasimulointi, jolla saavutettiin energiatehokkuusluokka C (153 kWh, m²/a).

Energiasimulointi on toteutettu siten, että koko rakennus on määritelty toimistorakennukseksi, mitä se ei todellisuudessa ole. Maanalaisista kerroksista kolmessa on kuntosali- ja pukuhuonetiloja, alimmaisessa kerroksessa on autohalli sekä varastotiloja.

Osiassa esitetään, kuinka energiatehokkuusluokka saadaan lähtötietojen, energiankulutuksen seurantajärjestelmän ja ympäristöministeriön asetusten avulla laskettua vertailua varten.

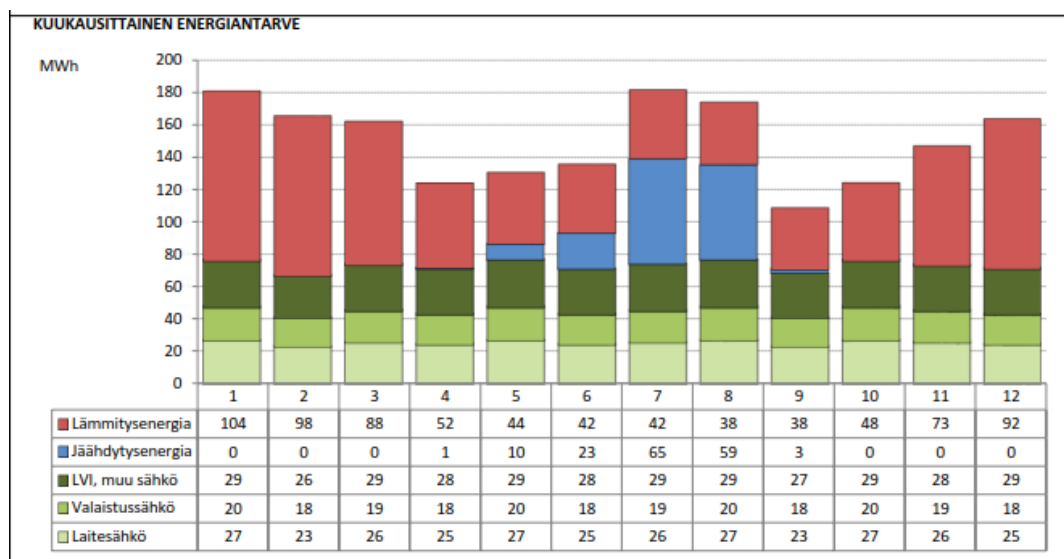
Laskennallinen energiankulutus toteutetaan sekä hankesuunnitelman mukaisesti pelkkänä toimistorakennuksena että kellarikerroksien todellinen käyttö huomioiden.

Vertailu toteutetaan tammikuun ja helmikuun 2018 osalta.

5.1 Laskennan teoria

Laskennan teoria pohjautuu ympäristöministeriön ohjeeseen ”Energiatehokkuus – Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta”, jonka avulla saadaan laskettua tilojen lämmitystarpeen nettotarve, lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve ja ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018: 63).

Laskettua lämmitysenergian kulutusta, sähkönkulutusta ja aurinkosähkön tuottoa ja arvioitua jäähdytysenergiaa verrataan hankesuunnittelun energiasimulointimallin mukaiseen vuosijakaumaan. Vertaaminen toteutetaan tammikuun ja helmikuun osalta.



Kuva 17. Pilottihankkeen hankesuunnitelman kuukausittaisen energiantarpeen kulutusjakauma.

Kuvasta 17 ilmenee energiankulutuksen jakauma, joka on jaettu lämmitysenergian osalta tilojen lämmitykseen, ilmanvaihdon lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden valmistukseen. Sähkön osalta kulutus on jaettu LVI-sähköön, valaistussähköön ja laitesähköön. Jäähdytysenergia ja itse tuotettu aurinkosähkön ovat omat kokonaisuutensa.

Laskennassa saatua toteumaa verrataan ennustettuun energiankulutukseen, arvioidaan ennusteen onnistumista ja sitä, missä on mahdollisesti parantamisen varaa. Ennakkoon käytyjen kahvipöytäkeskustelun perusteella lämmitysenergian kulutus on ollut suurempaa, mutta sähköenergian kulutus on lähellä arviota.

Taulukko 1. Hankesuunnitelman liitteeksi toteutetun energiankulutuksen jakauma kuukausittain jaoteltuna eri kulutuskohteisiin.

MWh	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Koko vuosi	Koko vuosi kWh
Lämmitysenergia	104,0	98,0	88,0	52,0	44,0	42,0	42,0	38,0	38,0	48,0	73,0	92,0	759,0	759000
Tilojen lämmitys	62,7	59,1	53,1	31,4	26,5	25,3	25,3	22,9	22,9	28,9	44,0	55,5	457,7	
Ilmanvaihdon lämmitys	24,2	22,8	20,5	12,1	10,2	9,8	9,8	8,8	8,8	11,2	17,0	21,4	176,7	
Lämpimän käyttöveden valmistus	17,1	16,1	14,5	8,5	7,2	6,9	6,9	6,2	6,2	7,9	12,0	15,1	124,7	
Sähköenergia	76,0	67,0	74,0	71,0	76,0	71,0	74,0	76,0	68,0	76,0	73,0	72,0	874,0	874000
LVI, Muu sähkö	29,0	26,0	29,0	28,0	29,0	28,0	29,0	29,0	27,0	29,0	28,0	29,0	340,0	
Valaistussähkö	20,0	18,0	19,0	18,0	20,0	18,0	19,0	20,0	18,0	20,0	19,0	18,0	227,0	
Laitesähkö	27,0	23,0	26,0	25,0	27,0	25,0	26,0	27,0	23,0	27,0	26,0	25,0	307,0	
Jäähdytysenergia	0	0	0	1	10	23	65	59	3	0	0	0	161,0	161000
Aurinkosähkö	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0

Rakennuksen E-luku saadaan ennustettua 1.3.2018 tilanteen perusteella, kun hyödynnetään energiatodistuksen laskentapohjaa. Taulukon 1 laskentapohjassa on hankesuunnitelman mukaisen simulaation arvot.

Taulukko 2. E-luvun laskentakaava, johon lisäämällä tammikuun ja helmikuun todelliset energiankulutuslukemat saadaan selvitettyä 1.3.2018 tilanteen E-luku.

E-luvun erittely	Ostoenergia	Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus
Sähkö	874000,0	1,7	1485800
Kaukolämpö	759000,0	0,7	531300
Kaukokylmä	161000,0	0,4	64400
Aurinkosähkö	0,0	0,5	0
Yhteensä	1794000,0		2081500
Vuosijakauma lämmönenergian tarpeesta			
Lämmitetty nettoala	13607 m ²		
E-luku	153,0 kWh/m ² ,a		

Tarkemmin suoritettulla E-luvun ja energian kulutuksenjakauman laskelmalla voidaan ennustaa vuoden 2018 E-luku ja havaita, mitä osa-alueita on parannettava, jotta rakennuksen energiatehokkuus parantuisi. Lämmitysenergian kulutuksen jakautumisen tarkemman laskemisen ansiosta voidaan tehdä johtopäätöksiä siitä, mistä etukäteen ennustettu korkea lämmitysenergiankulutus johtuu.

Rakennuksen ennustetun E-luvun laskemisen jälkeen verrataan tulosta hankesuunnitelmavaiheessa asetettuun energiatehokkuusluokantavoitteeseen, joka oli luokka B. Kuvasta 18 ilmenee, että toimistorakennuksen mukainen energiatehokkuusluokka B edellyttää, että kokonaisenergiankulutus toimistorakennuksessa on <120 kWh/m²

Toimistorakennukset

Käyttötarkoitukseluokka: Toimistorakennukset
Terveyskeskukset
Muut terveydenhuoltorakennukset

Energiatehokkuusluokka	Kokonaisenergiankulutus, E-luku (kWh _E /m ² vuosi)
A	E-luku ≤ 80
B	81 ≤ E-luku ≤ 120
C	121 ≤ E-luku ≤ 170
D	171 ≤ E-luku ≤ 200
E	201 ≤ E-luku ≤ 240
F	241 ≤ E-luku ≤ 300
G	301 ≤ E-luku

Kuva 18. Hankesuunnitelman energiatehokkuusluokan tavoite on B

5.2 Lähtötiedot laskentaan

Rakennuksen tilojen lämmitystarpeen laskennassa käytetään kuvan 19 mukaisia arvoja, joita käytettiin E-luvun laskennassa hankesuunnitteluvaiheessa.

Rakennuksen käyttötarkoitus	Toimistorakennus			
Rakennusvuosi				
Lämmitetty nettoala	13 607,0	m ²		
Ilmanvuotoluku q50	1,5	m ³ /(h·m ²)		
Rakennusvaipan umpiosat	A	U	U A	%
	m ²	W/(m ² ·K)	W/K	
Ulkoseinät	5 844,6	0,22	1 283,31	49,1
Yläpohja	1 550,1	0,09	143,43	5,5
Alapohja	1 592,5	0,16	255,66	9,8
Ikkunat	737,6	1,01	748,70	28,6
Ulkio-ovet	46,0	1,00	45,77	1,8
Kylmäsiilit			137,80	5,3

Kuva 19. Hankesuunnitelman E-luvun laskennassa käytetyt rakennusvaipan lähtötiedot

Todellisen lämmitysenergian kulutuksen laskentaan hyödynnetään energiankulutuksen seurantajärjestelmästä saatuja lähtötietoja ja niiden kuukausittaisia keskiarvoja, jotka on koottu taulukkoon 3.

Taulukko 3. Seurantajärjestelmästä saadut lähtöarvot ilmanvaihdon lämmityksen tuottamalle energialle.

Määrite	Arvo	Yksikkö		Määrite	Arvo	Yksikkö
A _{netto}	13607	m ²		t _d , liikuntahalli	0,64	
T _u , tammikuu	-0,23	C		t _v , liikuntahalli	1,00	
T _u , helmikuu	-5,1	C		T _{sp} , tammikuu	15,72 - 23,45	C
Δt _t , tammikuu	744	h		T _{sp} , helmikuu	15,8 - 22,3	C
Δt _h , helmikuu	672	h		T _{lto} , tammikuu	9,98 - 16,57	C
T _s , tammikuu	19-22	C		T _{lto} , helmikuu	7,1 - 17,33	C
t _d , toimistorakennus	0,46			V _{lkv} , tammikuu	1148,56	m ³
t _v , toimistorakennus	0,71			V _{lkv} , helmikuu	1091,15	m ³

Ilmanvaihtokoneiden lähtötiedot olivat seuraavat, pitäen sisällään tulo- ja poistoilmavirran määrän sekä urakoitsijan laskeman SFP-luvun, jotka on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Ilmavaihtokoneiden lähtötiedot <Ominais sähkötehon mittauspöytäkirja 9.8.2018>

$q_{v,tulo}$	$q_{v,poisto}$	SFP-Luku _{tulo}
2,285		0
2,78		0
1,111		0,81
0,878	0,868	0,53
1,296		0,98
0,936	0,926	0,68
1,343		0,95
0,936		0,54
1,343		0,88
0,936	0,926	0,56
0,524		0,42
0,966		0,75
0,8	0,983	0,64
1,007	1,02	0
1,195	1,085	0,71
3,055		2,87
1,72		0,97
1,43	1,45	1,09
2,105	1,969	2,1
2,34		1,42
0,91	0,79	0,56
0,8	0,966	0,74
2,33	1,905	1,86

5.3 Tilojen lämmitysenergian laskenta

Tilojen lämmitysenergian nettotarve lasketaan yhtälöllä (2).

$$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis.lämpö}}$$

jossa

$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$	tilojen lämmitysenergian nettotarve, kWh
Q_{tila}	tilojen lämmitysenergian tarve, kWh
$Q_{\text{sis.lämpö}}$	lämpökuormat, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh.

(2)

Kuva 20. Tilojen lämmitysenergian nettotarpeen laskenta

Tilojen lämmitysenergian tarve lasketaan yhtälöllä (3).

$$Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv,tuloilma}} + Q_{\text{iv,korvausilma}}$$

jossa

Q_{tila}	tilojen lämmitysenergian tarve, kWh
Q_{joht}	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
$Q_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{iv, tuloilma}}$	tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{iv, korvausilma}}$	korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh.

(3)

Kuva 21. Tilojen lämmitysenergian tarpeen laskenta

Tilojen johtumisen lämpöhäviöt lasketaan yhtälöllä (4), johon lähtöarvot saadaan kuvasta 17 ja 19.

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinät}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkunat}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{ma}} + Q_{\text{työmaaväli}}$$

jossa

Q_{joht}	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
$Q_{\text{ulkoseinät}}$	johtumislämpöhäviö ulkoseinien läpi, kWh
$Q_{\text{yläpohja}}$	johtumislämpöhäviö yläpohjien läpi, kWh
Q_{alapohja}	johtumislämpöhäviö alapohjien läpi, kWh
Q_{ikkunat}	johtumislämpöhäviö ikkunoiden läpi, kWh
Q_{ovi}	johtumislämpöhäviö ulko-ovien läpi, kWh
Q_{ma}	johtumislämpöhäviö tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta, kWh
$Q_{\text{työmaaväli}}$	kylmäsilojen johtumislämpöhäviö, kWh.

(4)

Kuva 22. Johtumishäviöiden lämpöhäviöt laskenta

Todellinen johtumislämpöhäviö lasketaan yhtälöllä (5), johon sijoitetaan kuvan 17 ja 19 lähtöarvot.

$$Q_{rakona} = \sum U_i A_i (T_i - T_u) \Delta t / 1000$$

jossa

Q_{rakona}	johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, kWh
U_i	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)
A_i	rakennusosan i pinta-ala, m ²
T_i	sisäilman lämpötila, °C
T_u	ulkoilman lämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

(5)

Kuva 23. Johtumishäviön laskeminen rakenneosan lävitse.

Rakenteiden epätiiviyksien kautta tulevan vuotoilmavirran lämpenemisen tarvitsema energia lasketaan yhtälöllä (6), johon sijoitetaan kuvan 17 ja 19 lähtöarvot.

$$Q_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v, vuotoilma} (T_i - T_u) \Delta t / 1000$$

jossa

$Q_{vuotoilma}$	vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v, vuotoilma}$	vuotoilmavirta, m ³ /s
T_i	sisäilman lämpötila, °C
T_u	ulkoilman lämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

(6)

Kuva 24. Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarpeen laskenta.

Vuotoilmavirta lasketaan yhtälöllä (7), johon sijoitetaan arvot kuvasta 17.

$$q_{v, \text{vuotoilma}} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{\text{vaippa}}$$

jossa

$q_{v, \text{vuotoilma}}$	vuotoilmavirta, m ³ /s
q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)
A_{vaippa}	rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), m ²
x	kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille ja sitä korkeimmille rakennuksille 15 kerrokskorkeuden ollessa noin 3 m. Vain maapinnan yläpuoliset kerrokset otetaan huomioon.
3600	kerroin, joka muuttaa ilmavirran yksiköstä m ³ /h yksikköön m ³ /s.

(7)

Kuva 25. Vuotoilmavirran laskemisen kaava

Tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve lasketaan jokaiselle koneelle erikseen yhtälöllä (8), johon sijoitetaan kuvan 19 ja taulukon 3 lähtöarvot.

$$Q_{iv, \text{tuloilma}} = t_d \cdot t_v \cdot \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{v, \text{tulo}} (T_s - T_{sp}) \Delta t / 1000$$

jossa

$Q_{iv, \text{tuloilma}}$	tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
t_d	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v, \text{tulo}}$	tuloilmavirta, m ³ /s
T_s	sisälämpötila, °C
T_{sp}	sisäänpuhalluslämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Sisäänpuhalluslämpötila riippuu ulkolämpötilasta, lämmöntalteenotosta, ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin toiminnasta ja tuloilman lämpötilan noususta puhaltimessa.

(8)

Kuva 26. Tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarpeen laskenta

Korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve lasketaan yhtälöllä (9), johon sijoitetaan lähtöarvot kuvasta 19 sekä yhtälöllä (10) laskettu korvausilmavirta.

$$Q_{\text{er, korvausilma}} = \rho_i c_{pi} q_{v, \text{korvausilma}} (T_e - T_u) \Delta t / 1000$$

jossa

$Q_{\text{er, korvausilma}}$	korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v, \text{korvausilma}}$	korvausilmavirta, m ³ /s
T_u	ulkoilman lämpötila, °C
T_e	sisäilman lämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

(9)

Kuva 27. Korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve

Korvausilmavirta lasketaan yhtälöllä (10).

$$q_{v, \text{korvausilma}} = \sum t_d t_v q_{v, \text{poisto}} - \sum t_d t_v q_{v, \text{tulo}}$$

jossa

$q_{v, \text{korvausilma}}$	korvausilmavirta, m ³ /s
t_d	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
$q_{v, \text{poisto}}$	poistoilmavirta, m ³ /s
$q_{v, \text{tulo}}$	tuloilmavirta, m ³ /s.

(10)

Kuva 28. Korvausilmavirran laskennan kaava

Ilmanvaihdosta talteenotetun energian määrä voidaan laskea yhtälöllä (11).

$$Q_{\text{in}} = \sum t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v, \text{tulo}} (T_{\text{in}} - T_u) \Delta t / 1000$$

jossa

Q_{in}	ilmanvaihdosta talteenotettu energia, kWh
t_d	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v, \text{tulo}}$	tuloilmavirta, m ³ /s
T_{in}	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C
T_u	ulkolämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, hSPF
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

(11)

Kuva 29. Ilmanvaihdosta talteenotetun energian laskentakaava.

5.4 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian laskenta

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve lasketaan yhtälöllä (12), johon lämpimän vedenkulutus lukemaksi sijoitetaan mittausjärjestelmästä saatu todellinen lukema.

$$Q_{\text{liv, netto}} = \rho_v c_{pv} V_{\text{liv}} (T_{\text{liv}} - T_{\text{kv}}) / 3600$$

jossa

$Q_{\text{liv, netto}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh
ρ_v	veden tiheys, 1000 kg/m ³
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/(kg K)
V_{liv}	lämpimän käyttöveden kulutus, m ³
T_{liv}	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
3600	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h

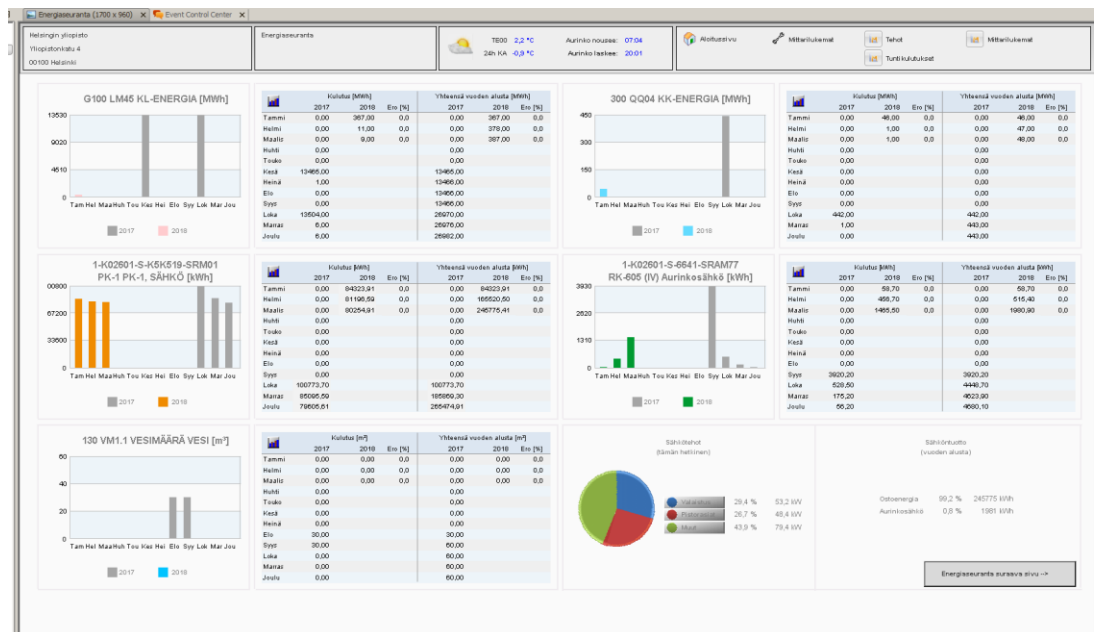
(12)

Kuva 30. Lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarpeen laskenta.

6 Energianmittausjärjestelmän käytettävyyden arviointi

6.1 Mittausjärjestelmän ominaisuudet verrattuna teoriaan

Energiankulutuksen mittausjärjestelmä on toteutettu rakennusautomaatiojärjestelmään liitetyllä seurantajärjestelmällä, jota hallinnoidaan erillisestä valvomosta. Valvomon näyttöpäätteeltä on nähtävillä yhdellä silmäyksellä kaukolämmön, kaukokylmän, veden ja sähkön kulutus sekä itsetuotetun aurinkosähkön määrä. Lisäksi on nähtävillä reaaliaikainen sähkönkulutuksen jakautuminen LVI-laitteiden, käyttösähkön ja valaistuksen osalta.



Kuva 31. Energiankulutuksen yhteenvetosivu

Mittarointijärjestelmän ja selkeän yhteenvetosivun avulla kuukausittaisia kulutuksia pystytään vertailemaan helpokäyttöisesti sen visuaalisuuden ansiosta verrattuna tilanteeseen, jossa kaikki mittaustulokset ovat erillisessä taulukossa.

Teoriaosioon verrattuna mittarointijärjestelmä pitää sisällään suositelluista kokonaisuuksista valaistuksen, LVI-laitteiden, ammattikeittiön, kaukolämmön, kaukokylmän ja veden kulutuksen. Käyttöveden lämmityksen, tilojen lämmityksen, ilmanvaihdon energiankulutusta eikä jäähdytyksen energiankulutusta ei ole mitattava, vaan ne on selvitettävä erikseen seurantajärjestelmää hyödyntäen laskemalla, jolloin saadaan selvitettyä tarkka tuotetun energian määrä.

Energiankulutuksen mittaaminen ei vielä pelkästään riitä, vaan lisäksi on mitattava kerroskohtaisia olosuhteita, kuten kuvassa 33 on esitetty. Mittausjärjestelmän avulla saadaan hyvä yleiskuva kerroskohtaisista olosuhteista, jolloin taloteknisten järjestelmien toimivuutta on helppo seurata ja säätää, mikäli tiloissa on esimerkiksi liian lämmintä, kylmää tai ilma liian tunkkaista. Kerroskohtaiselta pohjakartalta pääsee kätevästi tutkailemaan kyseistä aluetta palvelevan ilmanvaihtokoneen asetusarvoja.

Teoriaosuuden lisäksi olosuhteiden riittävän mittaroinnin lisäksi on mittaroitu myös ulkoilman lämpötila, poistoilmanlämpötila ennen ja jälkeen lämmöntalteenoton, ilmanvaihtokoneelta lähtevän tuloilman lämpötila,

Jäteilman lämpötilan mittaaminen on toteutettu paikan päällä luettavalla mittauslaitteella, keskeisten iv-kanavien tilavuusvirrat on mitattu, säädetty ja tarkastusmitattu ennen käyttöönottoa. Ilmavaihdon tilavuusvirtoja sekä vesikiertoisten järjestelmien tilavuusvirtoja voidaan paikan päällä tarkastaa ja mitata olemassa olevia asennuksia hyödyntäen.

Mittausjärjestelmän mittaustulokset rekisteröityvät jatkuvan seurannan periaatteella eli muutaman minuutin välein. Mittaustulokset ovat tarkasteltavissa trendiseurannan muodossa valvomon etäpääätteeltä, josta voidaan valita halutut mittaustulokset, joita halutaan tarkastella, jolloin ne on yhdistetty yhteiselle seurantajaksolle, kuten kuvassa 34 on tehty.



Kuva 34. Trendiseuranta, johon on yhdistetty pakastimen lämpötila sekä kylmäverkoston meno- ja paluuvien lämpötilat.

Trendiseurantojen avulla voidaan selvittää mahdollisia poikkeamia järjestelmien toiminnassa, kun tiedetään poikkeaman ajankohta ja mitkä mittarointipisteet ovat keskeisiä ongelman ratkaisemiseksi. Esimerkkikuvassa 34 on pakastimen lämpötilaseuranta, sekä siihen vaikuttavien kylmäverkoston meno- ja paluuveden lämpötilat ajanjaksolta, kun pakastimen toiminnassa havaittiin ongelmia.

6.2 Kehitysehdotukset

Suurempia puutteita energiankulutuksen seurantajärjestelmässä ei ole, mutta toivottavia kehitysehdotuksia energiankulutuksen tarkempaan seurantaan olisi käytösähkön automaattinen laskenta sähkönkulutussivulle, jolloin ei tarvitsisi hallinnoida erillistä Exceliä tai mielessä laskea käytösähkön kulutusta.

Käyttöveden kulutuksen osalta ei ole mitaroitu kulutusta kolmannessa kellarikerroksessa sijaitsevien keittiön aputilojen, ensimmäisen kellarikerroksen wc-ryhmän, eikä toisen, kolmannen, neljännen, viidennen ja kuudennen kerroksen wc-ryhmien osalta, eikä myöskään lämmönjakohuoneesta lähtevää vedenkulutusta kolmoskellariin, josta edellä mainitut linjat haaroittuvat. Käyttäjien muu vedenkulutus on kyllä mitaroitu laskutusta varten.

Vesivirtojen mittauksia ei ole yhdistetty automaatiojärjestelmään, vaan virtaukset on tarkastettu säätötöiden yhteydessä. Päättelemällä ja pienellä vaivalla vesivirrat saa selvitettyä käyttämällä apuna seurantajärjestelmää ja tehtyjä säätöjä.

7 Energiatehokkuusluokan tarkastelu

7.1 Lämmitysenergian kulutuksen tarkastelu

Lämmitysenergian laskennallinen energiankulutus laskettiin tilojen lämmityksen, ilmanvaihdon lämmityksen ja lämpimän käyttöveden valmistuksen osalta tammi- ja helmikuun osalta. Sähkön energiankulutus saatiin energiankulutuksen mittausjärjestelmästä selvitettyä. Jäähdytysenergiaa ei talviaikaan juurikaan kulunut, mutta kulutukseksi arvioitiin 1 mWh. Toteutuneet eli laskennallisesti todetut kulutuslukemat on siirretty taulukkoon 5, jossa keltaisella pohjalla näkyy toteutunut kulutus.

Taulukko 5. Energiankulutuksen jakauma täydennettynä tammikuun ja helmikuun 2018 toteumalla.

	Tammikuu	Tammikuu toteuma	Helmikuu	Helmikuu toteuma	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Vuoden ennuste
Lämmitysenergia	104,0	164,5	98,0	180,9	88,0	52,0	44,0	42,0	42,0	38,0	38,0	48,0	73,0	92,0	932,4
Tilojen lämmitys	62,7	69,0	59,1	80,4	53,1	31,4	26,5	25,3	25,3	22,9	22,9	28,9	44,0	55,5	485,3
Ilmanvaihdon lämmitys	24,2	28,5	22,8	36,8	20,5	12,1	10,2	9,8	9,8	8,8	8,8	11,2	17,0	21,4	195,0
Lämpimän käyttöveden valmistus	17,1	67,0	16,1	63,7	14,5	8,5	7,2	6,9	6,9	6,2	6,2	7,9	12,0	15,1	222,1
Sähköenergia	76,0	84,4	67,0	79,5	74,0	71,0	76,0	71,0	74,0	76,0	68,0	76,0	73,0	72,0	894,9
LVI, Muu sähkö	29,0	27,7	26,0	24,1	29,0	28,0	29,0	28,0	29,0	29,0	27,0	29,0	28,0	29,0	345,0
Valaistus sähkö	20,0	21,4	18,0	21,5	19,0	18,0	20,0	18,0	18,0	20,0	18,0	20,0	19,0	18,0	227,0
Laitesähkö	27,0	35,3	23,0	36,6	26,0	25,0	27,0	25,0	26,0	27,0	23,0	27,0	26,0	25,0	307,0
Jäähdytysenergia	0	1	0	1	0	1	10	23	65	59	3	0	0	0	161,0
Aurinkosähkö	0	0,1021	0	0,7577	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9

Taulukon 5 perusteella lämmitysenergian todellista kulutusta verrattaessa ennustettuun energiankulutukseen, voidaan todeta, että energiankulutus on n. 60 % suurempaa tammikuussa ja 85 % enemmän helmikuussa, kuin ennustettiin. Pilkottaessa lämmitysenergiankulutuksen jakautumista tarkemmin voidaan todeta, että tammikuussa tilojen lämmitykseen ja ilmanvaihdon lämmitykseen energiaa kului noin 10–15 % ennustettua enemmän.

Lämpimän käyttöveden valmistukseen kului kuitenkin lähes kolminkertainen määrä energiaa siihen verrattuna, mitä oli ennustettu. Tämä johtuu suurella todennäköisyydellä siitä, että energiasimulointi on tehty laskentaperusteella, että koko rakennus on toimistokäytössä eikä energiankulutuksen laskemissa ole huomioitu kellarikerroksissa toimivan kuntosalin puku- ja pesuhuonetilojen käytön volyymia kovinkaan tarkoin. Tällä perusteella lämpimän käyttöveden kulutukselle on kuitenkin selkeä selitys.

Taulukko 6. Energiankulutuksen muutosprosentti laskennallisen ja toteuman välillä, sekä tammikuun ja helmikuun toteuman välillä.

	Tammikuu	Tammikuu toteuma	Muutos %	Helmikuu	Helmikuu toteuma	Muutos %	Muutos % tamikuu/helmikuu
Lämmitysenergia	104,0	164,5	58,19 %	98,0	180,9	84,60 %	9,06 %
Tilojen lämmitys	62,7	69,0	10,10 %	59,1	80,4	36,07 %	14,13 %
Ilmanvaihdon lämmitys	24,2	28,5	17,61 %	22,8	36,8	61,53 %	22,73 %
Lämpimän käyttöveden valmistus	17,1	67,0	292,26 %	16,1	63,7	295,46 %	5,00 %
Sähköenergia	76,0	84,4	11,02 %	67,0	79,5	18,71 %	-6,09 %
LVI, Muu sähkö	29,0	27,7	-4,35 %	26,0	24,1	-7,32 %	-15,12 %
Valaistus sähkö	20,0	21,4	6,93 %	18,0	21,5	19,22 %	0,34 %
Laitesähkö	27,0	35,3	30,57 %	23,0	36,6	59,19 %	3,72 %
Jäähdytysenergia	0	1	100,00 %	0	1	100,00 %	0,00 %
Aurinkosähkö	0	0,1021	100,00 %	0	0,7577	100,00 %	86,53 %

Taulukon 6 perusteella helmikuussa lämmityksen energiankulutus kasvoi verrattuna tammikuuhun, niin ennusteeseen kuin toteumaankin verrattuna. Tilojen lämmityksen kulutus kasvoi tammikuuhun verrattuna n. 14 % ja ilmanvaihdon lämmityksen kulutus kasvoi n. 22 %. Lämpimän käyttöveden energiankulutuksessa ei tapahtunut merkittävää muutosta.

Tammi- ja helmikuun välistä lämmitysenergiankulutuksen tarvetta selittänee se, että helmikuussa on keskilämpötila -5 °C, kun tammikuussa ulkolämpötila oli -0,23 °C.

Huomioitavaa tarkastelussa on, että ennustetut energiankulutukset on toteutettu toimitusrakennukselle, jolla on vaikutusta mm. rakennuksen käyttöaikoihin ja sitä kautta toteutuneeseen energiankulutukseen. Vertailun vuoksi on laskettu ilmanvaihdon lämmityksen toteutunut energiankulutus, kun ensimmäisen kerroksen ja neljännen kellarikerroksen väliset tilat on huomioitu olevan auki seitsemänä päivänä viikossa noin 14 tuntia.

Taulukko 7. Energiankulutuksen muutosprosentti laskennallisen ja toteuman välillä, kun toteuma on laskettu rakennuksen todellisten käyttöaikojen perusteella 1. kerroksen ja 4. kellarin käyttäjät huomioiden.

	Tammikuu	Tammikuu toteuma	Muutos %	Helmikuu	Helmikuu toteuma	Muutos %	Muutos % tamikuu/helmikuu
Lämmitysenergia	104,00	183,62	76,56 %	98,00	204,32	108,49 %	10,13 %
Tilojen lämmitys	62,71	69,05	10,10 %	59,09	80,41	36,07 %	14,13 %
Ilmanvaihdon lämmitys	24,21	47,57	96,53 %	22,81	60,26	164,20 %	21,06 %
Lämpimän käyttöveden valmistus	17,08	67,00	292,26 %	16,10	63,65	295,46 %	-5,26 %
Sähköenergia	76,00	84,38	11,02 %	67,00	79,53	18,71 %	-6,09 %
LVI, Muu sähkö	29,00	27,74	-4,35 %	26,00	24,10	-7,32 %	-15,12 %
Valaistus sähkö	20,00	21,39	6,93 %	18,00	21,46	19,22 %	0,34 %
Laitesähkö	27,00	35,25	30,57 %	23,00	36,61	59,19 %	3,72 %
Jäähdytysenergia	0,00	1,00	100,00 %	0,00	1,00	100,00 %	0,00 %
Aurinkosähkö	0,00	0,10	100,00 %	0,00	0,76	100,00 %	86,53 %

Ilmanvaihdon lämmityksen laskennallinen energiankulutus tammikuun osalta tuplaantui ja helmikuun osalta lähes kolminkertaistui, mikä oli aavistettavissa, kun rakennuksen käyttöajat pidentyivät ja kellarikerrosten ilmanvaihtokoneet ovat kooltaan suurempia kuin maanpäällisten tilojen koneet. Todellisen käytön mukaisen energiankulutuksen osalta lämmitysenergian kulutus oli ennustetta suurempi noin 75 % tammikuussa ja helmikuussa noin 110 %, joka ilmenee taulukosta 7.

7.2 Sähköenergian kulutuksen tarkastelu

Sähköenergian kulutus saatiin selvitettyä energiankulutusmittausjärjestelmän avulla, johon oli energiankulutus mittaroitu valaistuksen ja LVI-sähkön osalta omine kulutusmittauksineen palvelualuekohtaisesti, jolloin koko rakennuksen LVI-sähkön ja valaistuksen sähkönkulutus saatiin mittauspisteiden summana.

Käyttösähkön osuus saatiin selvitettyä laskemalla ryhmäkeskuksen päämittauksen sähkönkulutuksen ja valaistuksen sähkönkulutuksen erotus.

Taulukko 8. Sähkönkulutuksen toteuma energianmittausjärjestelmän avulla selvitettyinä tammikuun ja helmikuun 2018 osalta.

	Tammikuu	Tammikuu toteuma	Muutos %	Helmikuu	Helmikuu toteuma	Muutos %	Muutos % tamikuu/helmikuu
LVI, Muu sähkö	29,0	27,7	-4,35 %	26,0	24,1	-7,32 %	-15,12 %
Valaistus sähkö	20,0	21,4	6,93 %	18,0	21,5	19,22 %	0,34 %
Laitesähkö	27,0	35,3	30,57 %	23,0	36,6	59,19 %	3,72 %
Aurinkosähkö	0	0,1021	100,00 %	0	0,7577	100,00 %	86,53 %

Taulukosta 8 ilmenee, että sähkönkulutuksen ennuste energiasimulointivaiheessa on onnistunut LVI:n osalta hyvin ja sähkön kulutus on tavoitteen alle noin 5 %.

Valaistussähkön osalta kulutus on tammikuussa n. 7 % suurempi kuin tavoite ja helmikuussa lähemmäs 20 %. Sähkön kulutus on tammikuun ja helmikuun välillä pysynyt lähes identtisenä, vaikka tammikuun alkupuolella toimistokerrokset eivät olleet käytössä.

Ennustetun laitesähkön kulutus verrattuna toteumaan on tammikuun puolella noin 30 % suurempi ja helmikuun puolella lähes 60 % suurempi. Suurempia muutoksia käyttösähkön käytössä ei ole tammikuun ja helmikuun välillä tapahtunut. Merkittävin ero tammikuun ja helmikuun välisessä käyttösähkön energiankulutuksessa tulee tiedekulman sprinklausurakasta, joka oli osan tammikuusta levittäytyneenä eri puolille tiedekulman tiloja, jossa sähkön käyttö on normaalitilanteessa korkeimmillaan. Tiedekulman kahvila aukesi vasta tammikuun puolella välissä, mikä osaltaan selittää 1 500 kWh kulutuseroa käyttösähkössä tammikuun ja helmikuun välillä. Kulutusero saatiin selville energiankulutuksen seurantajärjestelmän avulla.

Rakennus tuottaa sähköä myös omaan käyttöön aurinkosähköä, jota tammikuun aikana tuli 0,1 mWh, ja kasvua helmikuulle tammikuusta tuli 86,53 %, joka ilmenee taulukosta 9.

Taulukko 9. Aurinkosähkön tuotto tammikuussa ja helmikuussa 2018

	Tammikuu	Tammikuu toteuma	Muutos %	Helmikuu	Helmikuu toteuma	Muutos %	Muutos % tamikuu/helmikuu
Aurinkosähkö	0	0,10	100,00 %	0	0,76	100,00 %	86,53 %

7.3 E-luvun laskenta

E-luvun laskenta suoritettiin hankesuunnitelman mukaisesti pelkkänä toimistorakennuksena, jolloin E-luvuksi tuli 162,8 kWh/m², a, joka oikeuttaa C-luokkaan.

Taulukko 10. E-luvun laskenta hankesuunnitelman mukaisesti toimistorakennuksena.

E-Luvun erittely	Ostoenergia	Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus(kwh)
Sähkö	894911,2	1,7	1521349,091
Kaukolämpö	902418,2	0,7	631692,7534
Kaukokylmä	161000,0	0,4	64400
Aurinkosähkö	3725,1	0,5	1862,525049
Yhteensä	1954604,4	2,3	2215579,3
Vuosijakauma lämmönenergian tarpeesta			
Lämmitetty nettoala	13607 m2		
E-Luku	162,8 kWh/m2,a		

Energiatehokkuusluokan C kulutus on n. 10 kWh/m², a yksikköä enemmän kuin hankesuunnitelman tavoitearvo. Mikäli energiankulutus kasvaa loppuvuoden aikana, kuten tammi- ja helmikuun aikana on todennäköinen energiatehokkuusluokka D.

E-luvun laskenta suoritettiin todellisen rakennuksen käytön mukaisesti, jolloin E-luvuksi tuli 165,2 kWh/m², a, joka edelleen oikeuttaa C-luokkaan.

Taulukko 11. E-luvun laskenta rakennuksen todellisen käytön mukaisesti

E-Luvun erittely	Ostoenergia	Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus(kwh)
Sähkö	894911,2	1,7	1521349,091
Kaukolämpö	944942,9	0,7	661460,0396
Kaukokylmä	163000,0	0,4	65200
Aurinkosähkö	859,8	0,5	429,9
Yhteensä	2001994,3		2247579,2
Vuosijakauma lämmönenergian tarpeesta			
Lämmitetty nettoala	13607 m2		
E-Luku	165,2 kWh/m2,a		

Energiankulutus kasvaessa loppuvuoden aikana, kuten tammi- ja helmikuun aikana on todennäköinen energiatehokkuusluokka D.

Vertailun vuoksi laskettiin kuukausittaisen energiankulutuksen kasvu 20 % loppuvuoden ajalta, jolloin E-luku kasvoi jo lähelle arvoa 200 kWh/m², jolloin energiatehokkuusluokka lähentelee E-luokkaa (raja on 200 kWh/m², a)

Taulukko 12. Energiankulutuksen kasvu 20 % kuukautta kohden loppuvuoden aikana

E-Luvun erittely	Ostoenergia	Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus(kwh)
Sähkö	1073893,5	1,7	1825618,909
Kaukolämpö	1133931,5	0,7	793752,0475
Kaukokylmä	195600,0	0,4	78240
Aurinkosähkö	15203,5	0,5	7601,74107
Yhteensä	2388221,5		2690009,2
Vuosijakauma lämmönenergian tarpeesta			
Lämmitetty nettoala	13607 m ²		
E-Luku	197,7 kWh/m ² ,a		

Mikäli energiankulutusta ei saataisi hillittyä ja kasvu jatkuisi nykyisenlaisena, oltaisiin lähellä energiatehokkuusluokkaa E.

Energiankulutusta saadaan kuitenkin alkavalla järjestelmien virittämällä varmasti lähemmäksi luokkaa C.

7.4 Laskennan virhetarkastelu

Laskennassa on virhetarkastelun osalta otettu huomioon mm. ilmamäärät, jotka on tarkastettu toteutuneiden mittauspöytäkirjojen perusteella. Ilmamäärien osalta on huomioitu todelliset tilakohtaiset käyttöajat, jotka ovat varsin suuret, jolloin ilmavirrat ovat laskelmien mukaiset.

Laitteiden todelliset hyötysuhteet (esim. lämmöntalteenoton) vastaavat seurantajärjestelmästä poimittuja arvoja ja hankesuunnitelman lähtötietojen mukaisia arvoja

Rakennuksen käyttöajat seuraavat varsin tarkasti todellisen käytönmukaisia käyttöaikoja. Laskennassa käytetyt mitat on hankesuunnitelmavaiheessa tarkastettu, joten mitat ovat käyttökelpoiset. Sääkorjauksia ei ole tehty.

Veden kulutuksen osalta jouduttiin lämmitettävän veden määrää arvioimaan kellari 3:n keittiön aputilojen, 1.kellarin wc-ryhmän ja kerroksien 2-6 wc-ryhmien osalta.

Todetaan, että laskelmien osalta on muutoin noudatettu tarkoin laskentamääräyksiä, joten laskelmat ovat vertailukelpoiset.

7.5 Ehdotuksia energiatehokkuuden parantamisen

Energiankulutuksen seurantajärjestelmään tutustuessa ja erityisesti pitkällisten suoritettujen laskentojen ansiosta tuli ehdotuksia energiatehokkuuden parantamiseksi enimmäkseen lämmityspuoleen liittyen, mutta niillä on varmasti vaikutusta myös sähkönkulutukseen

7.5.1 Lämmitysenergia

TK03 eli 2. kerroksen Fabianinkatua palvelevan iv-koneen huonekohtaiset asetusarvot ovat 22 C. Huonetiloissa lämpötila kipuaa melko usein 21,5 C:n ja 22,5 C:n paremmalle puolelle. Jollei tiloissa vaadita noin lämmintä, voisi lämpötilan asetusarvosta nipistää 0,5 -1 C.

TK 7 eli 4. kerroksen Fabianinkatua palvelevan iv-koneen huonekohtaiset lämpötilat ovat myös lähempänä 21– 23 C:ta, joten jollei tiloissa vaadita noin lämmintä, voisi lämpötilan asetusarvosta nipistää 0,5-1 C:tta.

Näyttäisi siltä, että auringon paistaessa nousee tilojen lämpötila melko herkästi lähemmäksi 23 C:ta.

TK09:n vaikutusalueella 5. kerroksen Fabianinkadulla ovat huonekohtaiset asetusarvot 23–24 C, josta varmasti on varaa pudottaa 0,5-2 C.

Toimistokerroksen Yliopistonkadun puoleisten ilmanvaihtokoneiden TK 04, TK06 lämpötilojen asetusarvo on 22 C ja 3. ja 4. kerroksessa sisälämpötila on sopiva. 21-21,5 C.

Toimistokerroksen TK08 huonekohtaiset lämpötilat nousevat iltapäivää kohden 22 – 23 C:seen, lämpötilan asetusarvosta voisi nipistää 0,5-1 C

Helmikuun aikana varastotiloihin puhalletun tuloilman lämpötila oli keskiarvoltaan 22 C, mikä herätti huomiota, mutta varastotiloissa on suuresta tuloilman puhalluksesta huolimatta keskimäärin 18 C lämmintä. Mittauspisteitä lämpötilalle ei ole kuin yksi, joten lämpötilan voisi tarkastaa eri varastotiloissa, jota TK15 kellareissa palvelee, mikäli esimerkiksi anturin sijoitus on mittaustulosta harhaannuttava.

Lämpimän käyttöveden kulutus oli ennustettuun verrattuna suurempi, joten lämpimän käyttöveden kulutuksen pienentämiseksi, on mahdollista asentaa erilaiset energiatehokkaat suihkunsuuttimet esimerkiksi yhteen suihkutilaan ja arvioida, onko sillä merkittävää vaikutusta kulutukseen.

7.5.2 Sähkö

Sähkönkulutuksen osalta energiankulutus oli huomattavasti tasaisempi, ja sähkönkulutuksen tehostamiseksi on tehty jo energiankulutusta parantavia toimenpiteitä, joten merkittävimmät energiankulutusta pienentävät toimenpiteet varmasti tulevat näkymään lämmitysjärjestelmien energiankulutuksen pienentämisen heijastuksina.

8 Yhteenveto

Opinnäytetyössä onnistuttiin teoriapohjaisesti esittelemään energianmittausjärjestelmän rakennetta ja havainnollistettua periaatekaaviolla, kuinka sähkönkulutusta seurataan hyvinkin monipuolisessa toimistorakennuksessa. Energiankulutuksen seurantajärjestelmän periaatekaavion periaatteet ovat siirrettävissä yksinkertaisempiin tai vaativimpien rakennuksen sähkönkulutuksen seurantaan. Teoriapohjaisesti ja käytännön esimerkkien avulla onnistuttiin havainnollistamaan olosuhde- ja kenttämittauksia, joita pystytään energiankulutuksen seurantajärjestelmällä analysoimaan, arvioimaan muutoksia ja viritämään järjestelmää energiatehokkaammaksi. Uskallan todeta, että opinnäytetyön ensimmäinen tavoite saavutettiin.

Opinnäytetyön toisena tavoitteena oli selvittää, saavutettiin hankesuunnitteluvaiheessa asetettu energiatehokkuusluokka B. Tutkimusmenetelmänä oli selvittää energiankulutuksen seurantajärjestelmää apuna käyttäen toteutunut lämmitysenergiankulutus laskennallisesti sekä laitesähkön, LVI-sähkön, valaistussähkön kulutus ja omavaraisesti tuotetun aurinkosähkön tuotto. Jäähdytysenergian kulutus arvioitiin.

Laskennallinen selvitystyö osoittautui mielenkiintoiseksi, ja tekemisen lomassa energiankulutuksen muodostuminen ja pientenkin asioiden, kuten lämpötilaerojen, käyttöaikojen tai ulkoilman lämpötilalla on yllättävän suuri vaikutus kokonaisenergiankulutukseen.

Lopputulokseksi rakennukselle saatiin energiatehokkuusluokaksi C, mutta energiatehokkuusluokan säilyttäminen C:ssä edellyttää, että loppuvuoden energiankulutusta saadaan vähennettyä tai pidettyä vähintään samalla tasolla.

Energiatehokkuusluokan lämmitysenergian kulutuksen laskenta on kuitenkin vain suuntaa antava ja, kuten laskennallisessa tarkastelussakin esitettiin, on mahdollista, että laskennassa on huolellisesta lähteiden tulkinnasta huolimatta jäänyt jotain yksittäisiä pieniä asioita huomioimatta.

Lämmitysenergiankulutuksen laskennallisesta selvitystyöstä voi olla hyötyä rakennuksessa aloitettavalle automaatiojärjestelmien viritämiselle, ja sitä voivat käyttää tulevaisuudessa myös hyväksi esimerkiksi uudet opiskelijat.

Energiatehokkuuden parantamiseksi ei opinnäytetyössä saatu aikaiseksi merkittäviä kehitysehdotuksia. Ainoat kehitysehdotuksen energiatehokkuuden parantamiseksi liittyivät asetusarvojen pienentämiseen rakennuksessa alueilla, joissa lämpötilat ovat koholla kevätauringon takia. Energiatehokkuuden parantamiskeinot jäivät varsin suppeiksi opinnäytetyöprojektille varatun ajan loppumisen takia.

Huomioitavaa energiatehokkuusluokan laskennassa oli, että hankesuunnitteluvaiheessa laskettu energiatehokkuusluokka ei huomioi rakennuksen eri käyttötarkoituksia riittävän tarkoin, mikä vääristää rakennuksen energiatehokkuusluokan muodostumista. Rakennuksen käyttöönoton jälkeistä aikaa varten rakennukselle on laskettu käyttötarkoituksen mukaiset E-luvut toimisto-, liike- ja liikuntatiloille, joilla arvioidaan realistisemmin ja tarkemmin, kuinka suunnittelu- ja toteutusvaiheen energiankulutuksen tavoitteet saavutettiin. Rakennuksen oltua vuoden käytössä onkin mielenkiintoista nähdä rakennuksen todellinen energiankulutus, kun rakennusta viritetään energiatehokkaammaksi ensimmäisen vuoden aikana.

Opinnäytetyö oli antoisa ja kouluttava kokemus aikataulujen yhteensovittamisesta työelämän ja opiskelujen kanssa, mutta viimein opinnäytetyö saatiin maaliin hyvällä lopputuloksella.

Lähteet

AKF10+ Technical details. 2018. Verkkoaineisto. Thermokon. <http://www.thermokon.fi/tuotteet/lampotila#126-akf10> Luettu 28.3.2018.

Energia-analysaattori EM24. Verkkoaineisto. 2018. Garlo Gavazzi. https://www.etherma.fi/WebRoot/etherma/Shops/etherma/50D1/7986/C2AA/F80B/C538/0A28/1005/9F71/Carlo_Gavazzi_EM24_DIN_energia-analysaattori.pdf Luettu 28.3.2018.

Huoneistokohtainen veden ja energian mittausjärjestelmä. 2018. Verkkoaineisto. Pam Saint-Gobain. <http://www.pamline.fi/ratkaisut/veden-ja-energianmittaus/m-bus-mittariluentajarjestelma> Luettu 3.4.2018.

IV-nousukeskus NK2, pääkaavio. 2017. Granlund Oy

Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma Ympäristöministeriö. Finlex (SRmk)

Korhonen, Joonas. 2015. Vesihuoltolaitosten vesimittareiden etäluenta. Opinnäytetyö Savonia-Ammattikorkeakoulu.

Kurnitski, Jarek. 2012. Energiamääräykset 2012 – Opas uudisrakennusten energiamääräysten soveltamiseen. Helsinki. Suomen Rakennusmedia Oy.

Liedes, Riikka. Härkönen, Kalevi. 2015. KNX-järjestelmän perusteet. Espoo. Sähkötietyö ry.

Loisa Lassi, Reinikainen Erja, Tyni Anna. 2015. Energiaa säästävät tekniset toimenpiteet. Verkkoaineisto. Granlund Oy /. http://talotekniikka.teknologiateollisuus.fi/sites/lvi-talotekniikka/files/file_attachments/FinZEB-Taustaraportti_4_Energiaa-saastavat-toimenpiteet.pdf Luettu 3.4.2018.

LVIAJ-Työselitys. 2017. Insinööritoimisto Äyräväinen Oy.

M-Bus NET etäluentaohjelma. 2018. Verkkoaineisto. Pam Saint-Gobain. <http://www.pamline.fi/mittaustekniikka/mittariluentajarjestelmat/m-bus-luentajarjestelma/2128/m-bus-net-etaluentaohjelma> Luettu 3.4.2018.

Monikäyttöinen paine-erolähetin DPT-MOD. 2018. Verkkoaineisto. HK Instruments. <http://hkstruments.fi/fi/tuotteet/paine-erolahettimet-ilmalle/dpt-mod/> Luettu 28.3.2018.

Multical 6M2 energiamittari nestekiertoisiin järjestelmiin. 2018. Verkkoaineisto. Kamstrup. <https://www.kamstrup.com/fi-fi/products-and-solutions/thermal-energy-meters/multical-6m2> Luettu 28.3.2018.

Paloniitty, Sauli. 2013. Rakennusten tiiviysmittaus. Verkkoaineisto. http://paloniitty.fi/files/RTM%20Paloniitty_Rakennusten%20tiiviysmittaus%20artikkeli.pdf Luettu 29.3.2018.

Piikkilä, Veijo. Sahlsten, Toivo. 2006. Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät. Espoo. Sähkötiety ry.

Piikkilä, Veijo. Härkönen, Pentti. Mikkola, Juhana. Sahala, Antti. Sahlsten, Toivo. Sandström, Börje. Sirviö, Arto. Spangar, Tapani. Sulku, Juhani. 2012. Rakennusautomaatiojärjestelmät – Tietotekniset järjestelmät. Espoo. Sähkötiety ry.

Piikkilä, Veijo. Bamberg, Harri. Jussila, Tuomas. Laaksonen, Tero. Sahala, Antti. Sahlsten, Toivo. Spangar, Tapani. Sulku, Juhani. 2008. Kiinteistöjen valvomojärjestelmät. Espoo. Sähkötiety ry.

Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2018. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö. Finlex (SRmk)

Rakennuksen käyttö ja huolto-ohje. 2000. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa A4. Ympäristöministeriö. Finlex (SRmk)

Rosenberg, Atte. 2017. Urakoitsijoiden toimintatarkastusten ohje Insinööriyö Metropolia Ammattikorkeakoulu

SR04 Technical details. 2018. Verkkoaineisto. Thermokon. <https://www.thermokon.de/en/products/easysensr-transmitter/temperature/sr04/> Luettu 28.3.2018.

ToVa-käsikirja. Rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta. 2007. Espoo. VTT

Vehosmaa, Timo. 2008. Sähköenergian käytön tehostaminen kiinteistötoimialalla. Diplomityö Teknillinen korkeakoulu

Liite 1. Tilojen lämmitysenergian nettotarpeen laskenta

Tilojen lämmitysenergian nettotarve

Ajanjakso	Q_{qila}	$Q_{sis,lampö}$	$Q_{lämmitys,tilat\ netto}$	Yksikkö	$Q_{lämmitys,tilat\ netto}$	Yksikkö
Tammikuu	135974,44	58448,6	77525,86	kWh	77,53	mWh
Helmikuu	149956,87	58448,6	91508,28	kWh	91,51	mWh

Tilojen lämmitysenergian tarpeen laskenta

Ajanjakso	Q_{joht}	$Q_{vuotoilma}$	$Q_{qv,tuloilma}$	$Q_{qv,korvausilma}$	Q_{qila}
Tammikuu	42178,35	5265,523203	85218,05	3312,52	135974,44
Helmikuu	51631,12	6445,601344	87836,79	4043,36	149956,87

Lämpökuormien laskenta,

Arvot hankesuunnitelmasta, jaettuna 12 kuukaudelle
Ei vastaa täysin realistista kulutusta, mutta poikkeama ei ole hirveän suuri

Lämpökuormat	Yhteensä	Kuukausittainen	Yksikkö
Aurinko	54599,0	4549,9	
Ihmiset	124242,0	10353,5	
Kuluttajalaitteet	298481,0	24873,4	
Valaistus	224061,0	18671,8	
Yhteensä	701383,0	58448,6	kWh

Liite 2. Tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen tehontarve, tammikuu 2018

TILASSA TAPAHTUVAN TULOILMAN LÄMPENEMISEN LÄMPÖTEHON TARVE
Tammikuu 2018

PALVELUALUE	Nro	ρ_i	c_{pi}	$q_{v,i,ub}$	T_s	T_{sp}	Vertailu T_{sp}	$Q_{i,v}$	Vertailu $Q_{i,v}$	[W]
Tiedekulma	TK01	1,2	1000	2,285	22		18	10968,00		8226,00 [W]
Tiedekulma	TK02	1,2	1000	2,78	22		16,99	16713,36		10008,00 [W]
Toimisto	TK03	1,2	1000	1,111	22		22,28	-373,30		3999,60 [W]
Toimisto	TK04	1,2	1000	0,878	22		20,66	1411,82		3160,80 [W]
Toimisto	TK05	1,2	1000	1,296	22		19,55	3810,24		4665,60 [W]
Toimisto	TK06	1,2	1000	0,936	22		18,78	3616,70		3369,60 [W]
Toimisto	TK07	1,2	1000	1,343	22		20,34	2675,26		4834,80 [W]
Toimisto	TK08	1,2	1000	0,936	22		18,06	4425,41		3369,60 [W]
Toimisto	TK09	1,2	1000	1,343	22		19,65	3787,26		4834,80 [W]
Toimisto	TK10	1,2	1000	0,936	22		16,3	6402,24		3369,60 [W]
Saunat/Takkahuone	TK11	1,2	1000	0,524	22		17,98	2527,78		1886,40 [W]
Toimisto	TK12	1,2	1000	0,966	22		20,5	1738,80		3477,60 [W]
WC-Ryhmä	TK13	1,2	1000	0,8	22		23,405	-1348,80		2880,00 [W]
Keittiö	TK14	1,2	1000	1,007	22		20,69	1583,00		3625,20 [W]
Varastot	TK15	1,2	1000	1,195	22		23,123	-1610,38		4302,00 [W]
Liikuntatilat	TK16	1,2	1000	3,055	19		18	3666,00		0,00 [W]
Liikuntatilat	TK18	1,2	1000	1,72	19		18	2064,00		0,00 [W]
Liikuntatilat	TK19	1,2	1000	1,43	19		18,99	17,16		0,00 [W]
Puku ja pesutilat	TK20	1,2	1000	2,105	21		18,57	6138,18		5052,00 [W]
Liikuntatilat	TK21	1,2	1000	2,34	19		18	2808,00		0,00 [W]
Liikuntatilat	TK22	1,2	1000	0,91	19		18,03	1059,24		0,00 [W]
Puku ja pesutilat	TK23	1,2	1000	0,8	22		20,78	1171,20		2880,00 [W]
Autohalli	TK24	1,2	1000	2,33	20		15,72	11966,88		2796,00 [W]
							Yhteensä	85218,05		76737,60 [kWh]
							Yhteensä	85,22		76,74 [mWh]

Liite 3. Tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen tehontarve, helmikuu 2018

TILASSA TAPAHTUVAN TULOILMAN LÄMPENEMISEN LÄMPÖTEHON TARVE

Helmikuu 2018

PALVELUALUE	Nro	ρ_i	C_{pi}	$q_{v,iulo}$	T_s	T_{sp}	Vertailu T_{sp}	Q_{i_v}	Vertailu Q_{i_v}	[W]
Tiedekulma	TK01	1,2	1000	2,285	22	18,05	19	10830,90	8226,00	[W]
Tiedekulma	TK02	1,2	1000	2,78	22	17	19	16680,00	10008,00	[W]
Toimisto	TK03	1,2	1000	1,111	22	21,183	19	1089,22	3999,60	[W]
Toimisto	TK04	1,2	1000	0,878	22	19,57	19	2560,25	3160,80	[W]
Toimisto	TK05	1,2	1000	1,296	22	20,61	19	2161,73	4665,60	[W]
Toimisto	TK06	1,2	1000	0,936	22	19,33	19	2998,94	3369,60	[W]
Toimisto	TK07	1,2	1000	1,343	22	21,07	19	1498,79	4834,80	[W]
Toimisto	TK08	1,2	1000	0,936	22	18,318	19	4135,62	3369,60	[W]
Toimisto	TK09	1,2	1000	1,343	22	20,53	19	2369,05	4834,80	[W]
Toimisto	TK10	1,2	1000	0,936	22	18,8	19	3594,24	3369,60	[W]
Sauna/Takkahuone	TK11	1,2	1000	0,524	22	17,96	19	2540,35	1886,40	[W]
Toimisto	TK12	1,2	1000	0,966	22	19,78	19	2573,42	3477,60	[W]
WC-Ryhmä	TK13	1,2	1000	0,8	22	22,82	19	-787,20	2880,00	[W]
Keittiö	TK14	1,2	1000	1,007	22	17,821	19	5049,90	3625,20	[W]
Varastot	TK15	1,2	1000	1,195	22	22,33	19	-473,22	4302,00	[W]
Liikuntatilat	TK16	1,2	1000	3,055	19	18	19	3666,00	0,00	[W]
Liikuntatilat	TK18	1,2	1000	1,72	19	18,05	19	1960,80	0,00	[W]
Liikuntatilat	TK19	1,2	1000	1,43	19	18,99	19	17,16	0,00	[W]
Puku ja pesutilat	TK20	1,2	1000	2,105	21	17,85	19	7956,90	5052,00	[W]
Liikuntatilat	TK21	1,2	1000	2,34	19	18	19	2808,00	0,00	[W]
Liikuntatilat	TK22	1,2	1000	0,91	19	18,04	19	1048,32	0,00	[W]
Puku ja pesutilat	TK23	1,2	1000	0,8	22	20,11	19	1814,40	2880,00	[W]
Autohalli	TK24	1,2	1000	2,33	20	15,8	19	11743,20	2796,00	[W]
Yhteensä							Yhteensä	87836,79	76737,60	[kW]
Yhteensä							Yhteensä	87,84	76,74	[mWh]

Liite 6. Korvausilman lämpenemisen tehontarve, tammikuu 2018

KORVAUSILMAN LÄMPENEMISEN LÄMPÖTEHON TARVE
Tammikuu 2018

PALVELUALUE	Nro	t _d	t _v	p _i	c _{pa}	q _{v,ulo}	q _{v,pisto}	q _{v,korvausilma}	T _s	T _{umit}	Q _{ly}	Yksikkö
Tiedekulma	TK01	0.458	0.714286	1.2	1000	2.285		EI		22	-0.23	
Tiedekulma	TK02	0.458	0.714286	1.2	1000	2.78		EI		22	-0.23	
Toimisto	TK03	0.458	0.714286	1.2	1000	1.111		EI		22	-0.23	
Toimisto	TK04	0.458	0.714286	1.2	1000	0.878	0.868	EI		22	-0.23	
Toimisto	TK05	0.458	0.714286	1.2	1000	1.296		EI		22	-0.23	
Toimisto	TK06	0.458	0.714286	1.2	1000	0.936	0.926	EI		22	-0.23	
Toimisto	TK07	0.458	0.714286	1.2	1000	1.343		EI		22	-0.23	
Toimisto	TK08	0.458	0.714286	1.2	1000	0.936		EI		22	-0.23	
Toimisto	TK09	0.458	0.714286	1.2	1000	1.343		EI		22	-0.23	
Toimisto	TK10	0.458	0.714286	1.2	1000	0.936	0.926	EI		22	-0.23	
Sauna/Takkahuone	TK11	0.458	0.7143	1.2	1000	0.524		EI		22	-0.23	
Toimisto	TK12	0.458	0.714286	1.2	1000	0.966		EI		22	-0.23	
WC-Ryhmä	TK13	0.458	0.714286	1.2	1000	0.8	0.983	0.183		22	-0.23	1598,18
Keittiö	TK14	0.458	0.714286	1.2	1000	1.007	1.02	0.013		22	-0.23	113,53
Varastot	TK15	0.458	0.714286	1.2	1000	1.195	1.085	EI		22	-0.23	
Liikuntatilat	TK16	0.458	0.714286	1.2	1000	3.055		EI		19	-0.23	
Liikuntatilat	TK18	0.458	0.714286	1.2	1000	1.72		EI		19	-0.23	
Liikuntatilat	TK19	0.458	0.714286	1.2	1000	1.43	1.45	0.02		19	-0.23	151,09
Puku ja pesutilat	TK20	0.458	0.714286	1.2	1000	2.105	1.969	EI		21	-0.23	
Liikuntatilat	TK21	0.458	0.7143	1.2	1000	2.34		EI		19	-0.23	
Liikuntatilat	TK22	0.458	0.714286	1.2	1000	0.91	0.79	EI		19	-0.23	
Puku ja pesutilat	TK23	0.458	0.714286	1.2	1000	0.8	0.966	0.166		22	-0.23	1449,71
Autohalli	TK24	0.458	0.714286	1.2	1000	2.33	1.905	EI		20	-0.23	
										Yhteensä		3312,52 [W]
										Yhteensä		3.31 [kWh]

Liite 7. Korvausilman lämpenemisen tehontarve, helmikuu 2018

KORVAUSILMAN LÄMPENEMISEN LÄMPÖTEHON TARVE
Helmikuu 2018

PALVELUALUE	Nro	t _d	t _v	ρ _h	C _{pi}	q _{v,rub}	q _{v,pistio}	q _{v,korvausilma}	T _s	T _{u,mit}	Q _v	Yksikkö
Tiedekulma	TK01	0.458	0.714286	1.2	1000	2.285		El		22		
Tiedekulma	TK02	0.458	0.714286	1.2	1000	2.78		El		22		
Toimisto	TK03	0.458	0.714286	1.2	1000	1.111		El		22		
Toimisto	TK04	0.458	0.714286	1.2	1000	0.878	0.868	El		22		
Toimisto	TK05	0.458	0.714286	1.2	1000	1.296		El		22		
Toimisto	TK06	0.458	0.714286	1.2	1000	0.936	0.926	El		22		
Toimisto	TK07	0.458	0.714286	1.2	1000	1.343		El		22		
Toimisto	TK08	0.458	0.714286	1.2	1000	0.936		El		22		
Toimisto	TK09	0.458	0.714286	1.2	1000	1.343		El		22		
Toimisto	TK10	0.458	0.714286	1.2	1000	0.936	0.926	El		22		
Saunat/Takkahuone	TK11	0.458	0.7143	1.2	1000	0.524		El		22		
Toimisto	TK12	0.458	0.714286	1.2	1000	0.966		El		22		
WC-Ryhmä	TK13	0.458	0.714286	1.2	1000	0.8	0.983	0.183		22	-5.1	1948.30
Keittiö	TK14	0.458	0.714286	1.2	1000	1.007	1.02	0.013		22	-5.1	138.40
Varastot	TK15	0.458	0.714286	1.2	1000	1.195	1.085	El		22		
Liikuntatilat	TK16	0.458	0.714286	1.2	1000	3.055		El		19		
Liikuntatilat	TK18	0.458	0.714286	1.2	1000	1.72		El		19		
Liikuntatilat	TK19	0.458	0.714286	1.2	1000	1.43	1.45	0.02		19	-5.1	189.36
Puku ja pesutilat	TK20	0.458	0.714286	1.2	1000	2.105	1.969	El		21		
Liikuntatilat	TK21	0.458	0.7143	1.2	1000	2.34		El		19		
Liikuntatilat	TK22	0.458	0.714286	1.2	1000	0.91	0.79	El		19		
Puku ja pesutilat	TK23	0.458	0.714286	1.2	1000	0.8	0.966	0.166		22	-5.1	1767.31
Autohalli	TK24	0.458	0.714286	1.2	1000	2.33	1.905	El		20		
Yhteensä										4043.36 [W]		
Yhteensä											4.04 [kWh]	

Liite 8. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve

Ajanjakso	ρ_v	c_{pv}	V_{lkv}	T_{lkv}	T_{kv}	3600	Q-lkv,netto [kWh]
Tammikuu	1000	4,2	1148,56	58	8	3600	66999,33
Helmikuu	1000	4,2	1091,15	58	8	3600	63650,42

Lämpimän käyttöveden kulutus on selvitetty lämpimänveden kulutuksen mittaustuloksilla.
 Lämpimän käyttöveden mittarointi ei pidä sisällään K1 WC-ryhmää, eikä kerroksien 2-6 WC-ryhmiä
 Kulutukseksi em. arvioitu n. 200m³

Nro	t_g	t_w	ρ_1	C_{p1}	$Q_{g, \text{päästö}}$	T_{p1}	SFP	μ	$\Delta T_{\text{päästö}}$	T_{p10}	Δt	1000 Q_{g1}	[kWh]	
PAIVELYALUE														
Tie-dekuma	0,458	0,714286	1,2	1000	2,285	18	0	1	0,5000	13,68	744	1000	2351,27 [kWh]	
Tk01	0,458	0,714286	1,2	1000	2,78	16,99	0	1	0,5000	16,37	744	1000	-40,00 [kWh]	
Tk02	0,458	0,714286	1,2	1000	1,111	22,28	0,81	1	0,6790	10,08	744	1000	3743,51 [kWh]	
Toimisto	0,458	0,714286	1,2	1000	0,978	20,66	0,53	1	0,4417	16,35	744	1000	393,72 [kWh]	
Tk03	0,458	0,714286	1,2	1000	0,978	20,66	0,53	1	0,4417	16,35	744	1000	393,72 [kWh]	
Toimisto	0,458	0,714286	1,2	1000	1,296	19,55	0,98	1	0,8107	9,98	744	1000	3315,78 [kWh]	
Tk04	0,458	0,714286	1,2	1000	0,936	0,926	18,78	0,68	1	0,5067	16,34	744	1000	512,51 [kWh]
Toimisto	0,458	0,714286	1,2	1000	1,343	20,34	0,95	1	0,7917	13,3	744	1000	2452,72 [kWh]	
Tk05	0,458	0,714286	1,2	1000	0,936	18,06	0,34	1	0,4500	15,28	744	1000	637,44 [kWh]	
Toimisto	0,458	0,714286	1,2	1000	0,936	18,06	0,34	1	0,4500	15,28	744	1000	637,44 [kWh]	
Tk06	0,458	0,714286	1,2	1000	1,343	19,65	0,88	1	0,7333	13,55	744	1000	2106,63 [kWh]	
Toimisto	0,458	0,714286	1,2	1000	1,343	19,65	0,88	1	0,7333	13,55	744	1000	2106,63 [kWh]	
Tk07	0,458	0,714286	1,2	1000	0,936	0,926	16,3	0,56	1	0,4607	18,8	744	1000	-811,62 [kWh]
Toimisto	0,458	0,714286	1,2	1000	0,936	0,926	16,3	0,56	1	0,4607	18,8	744	1000	-811,62 [kWh]
Tk08	0,458	0,714286	1,2	1000	0,924	17,98	0,42	1	0,3000	16,33	744	1000	198,96 [kWh]	
Toimisto	0,458	0,714286	1,2	1000	0,924	17,98	0,42	1	0,3000	16,33	744	1000	198,96 [kWh]	
Tk09	0,458	0,714286	1,2	1000	0,966	20,5	0,75	1	0,6250	15,8	744	1000	1150,57 [kWh]	
Toimisto	0,458	0,714286	1,2	1000	0,966	20,5	0,75	1	0,6250	15,8	744	1000	1150,57 [kWh]	
Tk10	0,458	0,714286	1,2	1000	0,8	0,983	23,40	0,64	1	0,5333	15,35	744	1000	1758,78 [kWh]
Toimisto	0,458	0,714286	1,2	1000	0,8	0,983	23,40	0,64	1	0,5333	15,35	744	1000	1758,78 [kWh]
Tk11	0,458	0,714286	1,2	1000	1,007	1,02	20,69	0	1	0,5000	13,07	744	1000	2099,47 [kWh]
Toimisto	0,458	0,714286	1,2	1000	1,007	1,02	20,69	0	1	0,5000	13,07	744	1000	2099,47 [kWh]
Tk12	0,458	0,714286	1,2	1000	1,195	1,085	23,13	0,71	1	0,5917	14,875	744	1000	2674,22 [kWh]
Toimisto	0,458	0,714286	1,2	1000	1,195	1,085	23,13	0,71	1	0,5917	14,875	744	1000	2674,22 [kWh]
Tk13	0,458	0,714286	1,2	1000	3,055	18	2,87	1	2,3917	16	744	1000	-349,73 [kWh]	
Toimisto	0,458	0,714286	1,2	1000	3,055	18	2,87	1	2,3917	16	744	1000	-349,73 [kWh]	
Tk14	0,458	0,714286	1,2	1000	1,72	18	0,97	1	0,8083	10,1	744	1000	548,82 [kWh]	
Toimisto	0,458	0,714286	1,2	1000	1,72									

IV- Lämmitysenergia - lämmöntalteenotolla tuotettu energia

Yhteensä	28,10 mWVH
----------	------------

Liite 15. Lämmöntalteenoton laskelma, tammikuu 2018 (käytönmukainen)

Lämmöntalteenoton laskelma
Tammikuu 2018

Palvelualue	Kone	$\eta_{a,iv-kone}$	t_g	t_v	c_{pi}	c_{pa}	$q_{v,poisto}$	T_s	T_u	/1000 (W- kWh)	Φ_{ta}	Yksikkö
Tiedekulma	TK01	0,8	0,667	1	1,2	1000	2,285	22	-0,23	1000		32,53 kWh
Tiedekulma	TK02	0,8	0,667	1	1,2	1000	2,78	22	-0,23	1000		39,55 kWh
Toimisto	TK03	0,8	0,458	0,714286	1,2	1000	1,11	22	-0,23	1000		7,76 kWh
Toimisto	TK04	0,8	0,458	0,714286	1,2	1000	0,868	22	-0,23	1000		6,06 kWh
Toimisto	TK05	0,8	0,458	0,714286	1,2	1000	1,296	22	-0,23	1000		9,05 kWh
Toimisto	TK06	0,8	0,458	0,714286	1,2	1000	0,926	22	-0,23	1000		6,47 kWh
Toimisto	TK07	0,8	0,458	0,714286	1,2	1000	1,343	22	-0,23	1000		9,38 kWh
Toimisto	TK08	0,8	0,458	0,714286	1,2	1000	0,936	22	-0,23	1000		6,54 kWh
Toimisto	TK09	0,8	0,458	0,714286	1,2	1000	1,343	22	-0,23	1000		9,38 kWh
Toimisto	TK10	0,8	0,458	0,714286	1,2	1000	0,926	22	-0,23	1000		6,47 kWh
Saunat/Takkahuone	TK11	0,8	0,458	0,7143	1,2	1000	0,524	22	-0,23	1000		3,66 kWh
Toimisto	TK12	0,8	0,458	0,714286	1,2	1000	0,966	22	-0,23	1000		6,75 kWh
WC-Ryhmä	TK13	0,6	1,000	1	1,2	1000	0,983	21	-0,23	1000		15,03 kWh
Keittiö	TK14	0,6	1,000	1	1,2	1000	1,02	20	-0,23	1000		14,86 kWh
Varastot	TK15	0,8	0,458	0,714286	1,2	1000	1,085	20	-0,23	1000		6,90 kWh
Liikuntatilat	TK16	0,75	0,667	1	1,2	1000	3,055	20	-0,23	1000		37,10 kWh
Liikuntatilat	TK18	0,75	0,667	1	1,2	1000	1,72	20	-0,23	1000		20,88 kWh
Liikuntatilat	TK19	0,75	0,667	1	1,2	1000	1,45	20	-0,23	1000		17,61 kWh
Puku ja pesutilat	TK20	0,75	0,667	1	1,2	1000	1,969	21	-0,23	1000		25,08 kWh
Liikuntatilat	TK21	0,75	0,667	1	1,2	1000	2,34	20	-0,23	1000		28,42 kWh
Liikuntatilat	TK22	0,75	0,667	1	1,2	1000	0,79	20	-0,23	1000		9,59 kWh
Puku ja pesutilat	TK23	0,75	0,667	1	1,2	1000	0,966	21	-0,23	1000		12,31 kWh
Autohalli	TK24	0	0,667	1	1,2	1000	1,905	20	-0,23	1000		0,00 kWh
Yhteensä											Yhteensä	298,85 [kWh]
											Yhteensä	0,30 [mWh]

